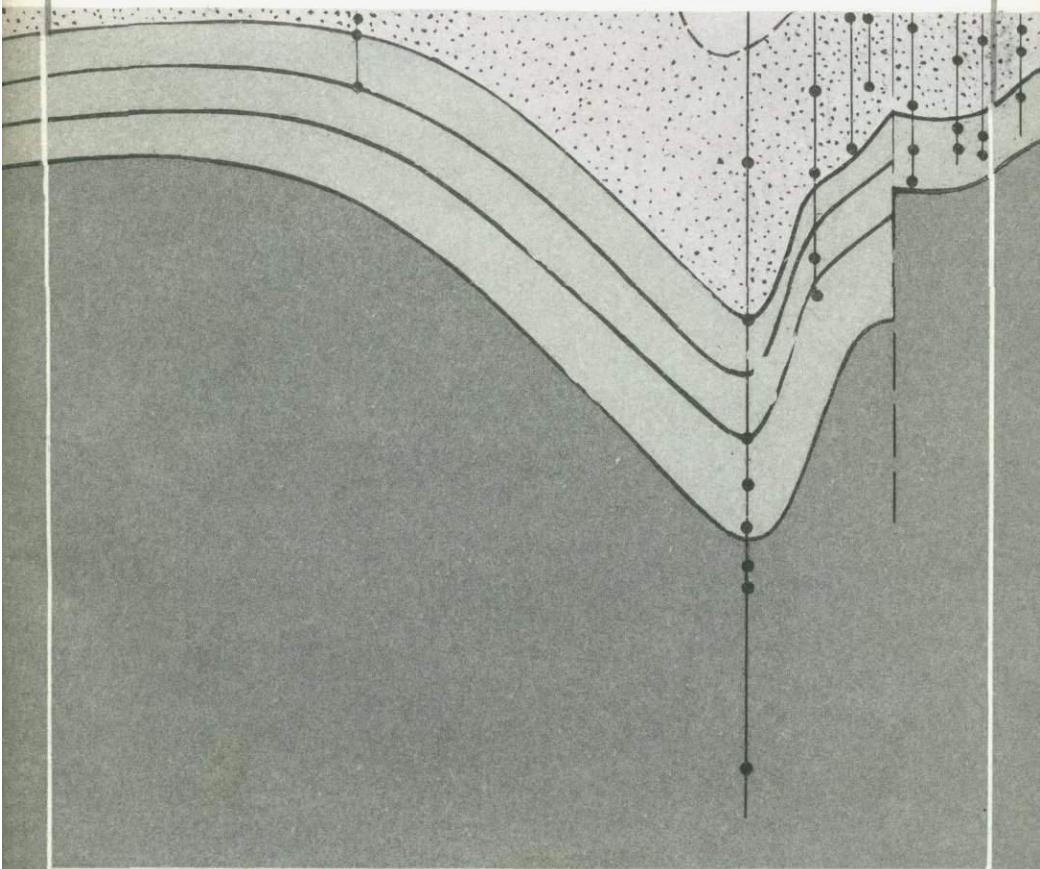


Е. И. ГОНЧАРОВА

# СТРУКТУРА СЛОИСТОЙ ТОЛЩИ И АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ КОРРЕЛЯЦИИ



ВЛАДИВОСТОК 1987

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ТЕКТОНИКИ И ГЕОФИЗИКИ

Е. И. Гончарова

СТРУКТУРА СЛОИСТОЙ ТОЛЩИ  
И АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ  
КОРРЕЛЯЦИИ

ВЛАДИВОСТОК 1987



4966

**Гончарова Е. И. Структура слоистой толщи и алгоритмические методы стратиграфической корреляции.** Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. 76 с.

В рамках определенной теоретической системы понятий развиты алгоритмические методы стратиграфической корреляции, которые могут служить как практике, так и теории — исследованию строения слоистой толщи. Особое место отводится вопросам взаимодействия стратиграфии (геологии вообще) и математики.

Предназначается для научных работников, студентов и аспирантов геологических специальностей.

Ответственный редактор Ю. А. Косыгин  
Рецензенты А. Ф. Белоусов, Ю. А. Воронин,  
Г. Л. Кириллова, В. О. Красавчиков

Издано по решению Редакционно-издательского совета  
Дальневосточного отделения АН СССР

## ОТ РЕДАКТОРА

Впервые мне приводится представлять читателю книгу, написанную не геологом. Неслучайно математизации, переосмыслению в духе математики подвергается именно стратиграфия, имеющая неисчерпаемую эмпирическую базу, с одной стороны, и простую логическую структуру, с другой.

Хорошо известны специалистам и широкому кругу геологов работы Ю. С. Салина (1979, 1983) по разработке методологических основ стратиграфии, совершенствованию ее понятий и методов решения основной задачи: стратиграфической корреляции. Работа Е. И. Гончаровой дополняет и углубляет разработки Ю. С. Салина, являясь их оригинальной подсистемой. Математизация геологии идет уже давно и отнюдь не так гладко, как представлялось когда-то ее зачинателям. Многочисленные попытки «приживления» к геологии чуждых ей математических методов предпринимались как математиками, работающими с геологами, так и самими геологами, рискнувшими одолеть математическую премудрость. Едва ли не впервые рискует преодолеть премудрость геологическую математик, для которого понять — значит построить модель, переотложить новое знание в определенные четкие формы и схемы.

Необычная по содержанию работа необычна и по форме. Вся первая методологическая глава написана цитатами из разных авторов. Эта мозаика дает цельную объемную картину в идейном и историческом аспекте, картину не только математизации геологии или стратиграфии, но и взаимодействия математики со всем естественным, из которого она вышла. Автор сталкивает исследователей, которые не могли полемизировать или соглашаться друг с другом при жизни, он наталкивает на ассоциации, параллели и выводы, зачастую ничего не говоря при этом, присутствуя, требуя интеллектуальной работы от читателя. Профессиональные навыки, умение из частного выделить общее и в общем разглядеть частное — это позволяет найти «жемчужные зерна» в терминологическом хозяйстве стратиграфии — демонстрируются во второй методологической главе. Что значит поставить задачу? Почему нет удовлетворительного решения, если поставить ее так? Живым нервом проходит через всю работу вопрос: как поставить задачу, чтобы получить исчерпывающее единственное решение? Разработка алгоритмических методов и реализация их в программах для ЭВМ — одно из ответвлений этого нерва. Почему, будучи эффективными и содержательно обоснованными, эти методы не дают, тем не менее, исчерпывающего решения на все конкретные частные случаи? Поиск — самая рациональная схема обработки данных. Ищите общее в частном, не забывайте о частном в общем. Простая логическая структура стратиграфии оборачивается, я бы сказал, неизвестной математической структурой. Эту неизвестность предлагает постичь автор, устанавливая связи между геологией и математикой, путем их проникновения друг в друга. Иллюстрирующая практические применения глава содержит разнообразные примеры решения конкретных стратиграфических задач разработанными автором методами. Число таких конкретных применений необходимо умножать, и не только ради демонстрации эффективности методов Салина—Гончаровой, но и для создания новой эмпирической базы: эмпирической базы конструктивной стратиграфии.

*Академик Ю. А. Косыгин*

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых изучаемых геологических объектов является слоистая толща. Последовательность залегания и пространственные взаимоотношения слоев, слагающих земную кору, специально изучаются стратиграфией, структурной геологией, тектоникой. Задача изучения слоистой толщи заключается в том, чтобы по имеющимся описаниям разрозненных, нередко значительно удаленных друг от друга разрезов, восстановить (построить) слоистую структуру того или иного региона, проследить ее между регионами, выявить нарушения слоистости (несогласия, разломы и т. п.).

Стратиграфия всегда имела неисчерпаемую эмпирическую базу. Возможно, именно это и помешало ей стать логически строгой научной дисциплиной. Даже общие принципы стратиграфии понимаются различно разными исследователями. Неисчерпаемость же эмпирической базы неизбежно вывела к методам математической статистики и применению ЭВМ. Используют ЭВМ и для решения задачи стратиграфической корреляции, привлекая для этого различные математические понятия и методы. Кроме того, сформировалось и развивается направление изучения слоистой толщи методами, являющимися уточнением и формализацией традиционных, конструктивная стратиграфия — альтернатива методам, в которых «слишком много математики и слишком мало геологии» (Салин, 1983а, С. 153). И это не только методы, которые дают практические результаты (практические результаты дают все методы), но методы в рамках теории, вернеровской модели слоистой толщи. Это стратиграфия, проникнутая духом математики, стратиграфия, которая может служить основой для всей теоретической геологии. В ней можно свести воедино все методы, которые согласуются с вернеровской моделью, сравнить практические результаты, полученные методами, имеющими различные основания и принадлежащими разным авторам (Салин, 1979, 1983а, б).

Данная монография является результатом продолжительной работы автора в лаборатории слоистых структур ИТиГ ДВО АН СССР, руководимой Ю. С. Салиным. В ней обсуждается проблема постановки задачи стратиграфической корреляции, алгоритмические методы построения стратифицирующих последователь-

ностей, их связь с основными понятиями конструктивной стратиграфии, с проблемой геохронологической шкалы и изучением структуры слоистой толщи. Мы изучаем бинарные отношения, за которыми скрываются простые факты залегания тела выше или ниже другого или рядом с ним, и, вопреки мнению А. М. Волкова (1980), это дает нечто большее, чем просто непротиворечивость рассуждений. Вразрез с выводом Ф. А. Усманова о том, что «отношение между геологическими телами моложе  $t_1$  (древнее), являющееся отношением строгого порядка, обладающее свойствами антирефлексивности, антисимметричности и транзитивности, можно установить только по наблюдаемым отношениям с такими же свойствами» (1977а. С. 64), мы устанавливаем отношение «моложе—древнее» по наблюдаемому отношению «выше—ниже», которое не является транзитивным. На основе наблюдаемого отношения «выше—ниже» (нерефлексивного, антисимметричного, нетранзитивного) между признаками (точками) описаний разрезов, выводимых из его возрастных отношений и понятий стратифицирующей последовательности признаков и сумм признаков, обсуждаются возможности дальнейшего исследования слоистой толщи «лабораторными способами»: с карандашом, бумагой и ЭВМ. Геолога может смутить эта «игра в точки», но точкой у математика может быть все, что угодно: часть геологического тела, все тело, стратиграфическое подразделение любого ранга.

Примеры применения алгоритмов приводятся в качестве иллюстрации с целью облегчения понимания способа представления материала, иллюстрации возможности их применения для решения различных конкретных стратиграфических задач, а не для «доказательства» действительности положенных в их основу теоретических конструкций.

# ГЛАВА I.

## РОЛЬ МАТЕМАТИКИ В ФОРМИРОВАНИИ ПОНЯТИЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ГЕОЛОГИИ

*Слова состоят из букв алфавита, предложения из слов, которые можно найти в словаре, и книги из предложений, которые можно найти и у других авторов. Однако если то, что я говорю, содержательно и связано таким образом, что одно следует из другого, то вы столь же можете порицать меня за заимствование моих предложений у других, сколь и за заимствование моих слов у словаря.*

*Р. Декарт*

1.1. Математику применяют во всех науках, на разном уровне и с различными результатами. «Хорошо известно, что одна и та же реальная задача может быть записана и обсуждена на множестве различных математических диалектов. ... Оказывается, что адекватный перевод с одного математического диалекта на другой невозможен, так же как, строго говоря, он невозможен и для обыденных языков и для абстрактных, строго формализованных языков» (Налимов, 1974. С. 186—187). Что касается геологии, то «положение, существующее в настоящее время, можно оценить пессимистически: роль математических методов сейчас сводится к сугубо вспомогательным операциям, а в ряде случаев — не более, чем к применению математической терминологии» (Воронин, Еганов, 1974. С. 32). С 1974 г. это положение мало изменилось, разве что появилось больше методологических работ, в которых снова и снова обращается внимание на неблагоприятное с «внедрением» точных методов в геологию: «эти преобразования производятся по правилам, облеченным в весьма сложную и зачастую малопонятную для многих геологов форму, их смысл и значение остаются скрытыми, но сам факт использования средств «царицы наук» создает иллюзии необходимости и достоверности результатов. При этом самые трудоемкие методы, вводимые в сферу геологии по мере развития вычислительной базы, приводят

к получению результатов, содержательная интерпретация которых наиболее затруднена, как и использование их в качестве средства для решения новых задач» (Груза, 1977. С. 87—88).

«Говорят, что если задача хорошо сформулирована, то лучше всех ее решит математик. Ну, а если задача сформулирована плохо? Ведь именно с такой ситуацией исследователь сталкивается в «старых» геологических теориях. Строя новое здание формально, в виде теорем, дедуктивно выводимых из аксиом, об уровне содержательности которых в надежде на математическую технику, не заботятся, естествоиспытатель попадает в притягательную своей безупречной логикой структурированную и организованную пустоту» (Лоссовский, 1984. С. 42).

«Не совсем ясно, что, собственно, мы хотим сделать, говоря о математизации знаний: изменить кардинально сложившуюся систему мышления в той или иной области знаний или сделать нечто более скромное — найти язык, который позволил бы более подвижным и компактным способом излагать и развивать суждения в сложившейся уже системе мышления?» (Налимов, 1974. С. 230).

Должно быть, со страниц С. Лема (1968) в работы геологов сошел образ математики-портного, заготавливающего впрок для различных наук представления, понятия, приемы рассуждений и вычислений (Воронин, Еганов, 1974), а заодно и мнение, что к скорейшему и плодотворнейшему развитию геологии привело бы установление соответствия между понятиями, методами и задачами математики и геологии (Усманов, 1977). В качестве подкрепления надежд на пользу и возможность такого соответствия приводятся многочисленные примеры из физики, как наиболее математизированной науки.

Но только потому, что физика и математика первоначально были одним и тем же, математика, обособившись в дедуктивную науку, возвращает физике ее аппараты, доведенные до идеального, нефизического совершенства.

1.2. Все первоначальное содержание математики было физическим, ее законы (математически доказываемые теперь теоремы) были всего лишь эмпирическими обобщениями (Александров, 1970; Сабо, 1959). Физическими были и ее методы — сначала за неимением других, потом совершенно сознательно. «Некоторые геометрические теоремы сначала обнаружены нами при помощи механических методов, а затем доказаны также и геометрически» (Архимед, 1962. С. 77). В связи с развитием физики возникли дифференциальное и интегральное исчисления. Многие математики, например А. Пуанкаре (1906) и Д. Пойа (1975), отмечали, что математические задачи часто внушаются физическими науками, нашей интерпретацией природы, причем и решение задачи нередко может быть подсказано физикой.

«Занимаясь тем, что материально, осязаемо, мы по необходимости превращаем математику в одну из ветвей физики, ветвь,

которая, тем не менее, отличается от других тем, что в ней прибегают к наблюдениям лишь в самом начале, чтобы затем класть в основу определения и аксиомы» (Лебег, 1960. С. 197).

Некоторые фундаментальные понятия математики возникли в других сферах человеческой деятельности. Теория вероятностей, например, обязана своим происхождением азартным играм. Но физика стала стимулом развития и этой области математики, предоставив ей для исследования более многообразные отношения и закономерности. Именно поэтому теория вероятностей сейчас успешно используется в физике.

Не стоит, однако, идеализировать самую «математизированную» науку. У современной физики достаточно сложные отношения с математикой. «Ни в одной области физики не было сделано столько грубейших ошибок и ложных открытий, как при обработке статистических данных, полученных в результате ядерных столкновений» (Капица, 1974. С. 224).

«Но многие физики, в том числе и я, чувствуют, что хотя на математической строгости сосредоточены столь значительные усилия, в то же время очень мало внимания уделялось вопросу о точной связи теории с практическими задачами. Физики, и особенно физики-экспериментаторы, вынуждены сами разрабатывать для себя практические применения теории путем перевода узкоспециальных работ на свой собственный язык» (Сергеев, 1972. С. 9).

Количество подобных высказываний можно сколь угодно увеличить. Дело в том, что и математика является живой становящейся наукой, и все развивающиеся математическая статистика и теория вероятностей не являются всемогущими, не дают ответов на все вопросы. «По современным представлениям область применения теоретико-вероятностных методов ограничивается явлениями, которым присуща статистическая устойчивость. Однако проверка статистической устойчивости трудна и всегда неполна; к тому же она часто дает отрицательный вывод. В результате в целых областях знания, например в геологии, нормой стал такой подход, при котором статистическая устойчивость вообще не проверяется, что неизбежно ведет к серьезным ошибкам» (Тутубалин, 1972. С. 144). «Тем не менее следует справедливости ради признать, что, если вопрос тщательно продуман и работа основана на хорошем знании изучаемого материала, применение современного аппарата статистического анализа может дать ценные результаты, которые нельзя получить другими, менее строгими, математическими методами (Хэллем, 1983. С. 29).

На сегодня и завтра верным остается замечание А. Хальда: «В практической работе мы часто обнаруживаем, что трудно получить удовлетворительное согласие, например, между распределением наблюдений и простым теоретическим распределением. Если, тем не менее, к таким случаям применять стандартные статистические методы, то следует иметь в виду, что возможные ошибки

в выводах могут получиться вследствие того факта, что положенные в основу рассматриваемой теории предположения осуществляются недостаточно точно. Это может привести не к общему отрицанию теории, но к большей осторожности в ее применении, к предварительной тщательной проверке всех предположений и к пониманию того факта, что *стандартные методы не всегда приводят к наилучшему решению задачи* (выделено мной.— Е. Г.). Исследователь должен быть готов при случае развивать свои собственные теории» (1956. С. 40).

Отнести это замечание можно не только к статистическим методам, но и к любым другим.

1.3. Кроме того, многие математики и физики отмечают, что математика «работает, как всегда, не покладая рук, но работает только на себя» (Клайн, 1984. С. 337). В 1957 г. Р. Курант писал: «Если существующая ныне тенденция сохранится, то не исключена опасность, что развитие «прикладной» математики в будущем станет уделом физиков и инженеров, а профессиональные математики сколько-нибудь высокого ранга не будут иметь к этому никакого отношения» (Цит. по: Клайн, 1984. С. 352). Слово «прикладная» взято Р. Курантом в кавычки потому, что он имел при этом в виду всю содержательную и наполненную смыслом математику, не проводя различия между математикой чистой и прикладной. А в 1895 г. Ф. Клейн высказывал опасение: «Трудно отделаться от ощущения, что быстрое развитие современной мысли таит для нашей науки опасность все более усиливающейся изоляции. Тесная взаимосвязь между математикой и теоретическим естествознанием, существовавшая к вящей выгоде обеих сторон, с возникновением современного анализа грозит прерваться» (Цит. по: Клайн, 1984. С. 334). Выступая в защиту чистой математики в целом Ж. Дьёдонне вместе с тем не мог не заметить, что хвастливые заявления математиков о ценности чистой математики для естественных наук представляют собой своего рода «мелкое жульничество». По словам Ж. Дьёдонне, чистые математики не пожалуют сил, чтобы доказать единственность решения какой-нибудь проблемы, но не ударят палец о палец, чтобы попытаться найти это решение. Физик же *знает*, что решение существует и единственно — Земля не обращается вокруг Солнца по двум различным орбитам — но ему необходимо знать истинную орбиту (Клайн, 1984).

«Подлинную, живую, содержательную математику рождает сочетание абстракции и конкретных проблем. Математики могут воспарять в облака абстрактного мышления, но, подобно птицам, за пищей должны возвращаться на землю» (Клайн, 1984. С. 353). «Высказывания, сделанные на математическом языке в прикладных задачах, всегда и прежде всего должны обладать интуитивно-содержательной убедительностью — это является их обоснованием» (Налимов, 1974. С. 182).

1.4. Наиболее интенсивно математика начинает проникать в

геологию посредством моделей, как было и остается в физике. К моделям физики все привыкли. «Нередко в своих рассуждениях исследователь пользуется результатами, добытыми теоретической механикой или математической физикой, даже не отдавая себе отчета в том, что он оперирует модельными объектами, настолько отождествление реальной действительности с моделью вошло в плоть и кровь работников в этих областях науки» (Ляпунов, 1966. С. 40).

Будем понимать под моделью теорию явления и требовать, чтобы она давала подтверждаемые наблюдением, практически важные предсказания, а все отклонения действительности от модели можно было бы устранить усложнением этой модели. «Отдавая себе отчет в том, что никакая математическая модель не может дать исчерпывающего описания действительности, мы должны в наших попытках познания реального мира примириться с необходимостью использования последовательности моделей все большей и большей сложности. Если в решениях некоторой последовательности моделей наблюдается известное сходство их строения, то мы можем считать, что в нашем распоряжении имеется некоторое приближение к тому, что обычно называют «законом природы» (Беллман, 1960. С. 15).

Широчайшее распространение в геологии имеют генетические, статистические и иные модели самых разных достоинств. В качестве положительных примеров можно привести сейсмическое моделирование, перспективную корреляцию Т. Б. Хейтса (Haites, 1963) и вернеровскую модель слоистой структуры (Салин, 1983).

1.5. Сейсмостратиграфия представляет собой один из геологических методов интерпретации сейсмических данных. Однократные отражения получают от физических поверхностей, являющихся главным образом границами раздела слоев (поверхностями напластования) и поверхностями несогласий, характеризующимися резкими изменениями таких параметров, как скорость и плотность. «Корреляция однократных отражений на сейсмических разрезах соответствует корреляции хроностратиграфических границ, а не прослеживанию крупных литостратиграфических подразделений» (Сейсмическая стратиграфия, 1982. С. 245). Цель сейсмического моделирования состоит в том, чтобы построить геометрическое изображение и дать математическое описание геологического строения недр. «Сейсмическое моделирование позволяет решать важные поисковые задачи: 1) определять возможность картирования данного геологического объекта; 2) определять влияние вариаций геологических параметров (пористость, мощность и пр.) в ожидаемых пределах на сеймосигналы и 3) оценивать значимость изменений характера отражений, или аномалий, выявляемых на полевых сейсмических записях» (Там же. С. 693). Однако «одинаковому сейсмическому изображению могут соответствовать разные варианты стратиграфии разреза»

(Там же. С. 793), и стратиграфическая интерпретация сейсмоданных все же искусство, хотя и «искусство, не терпящее вольностей, не выходящее за рамки, определяемые фундаментальными положениями» (Там же. С. 34).

1.6. Т. Б. Хейтс выделил основные для решения задачи корреляции общие черты в строении нефтяных бассейнов: мощность пластов максимальна в центре и уменьшается к краям бассейна. Бассейн представляет собой осадочную призму, одиночный или двойной клин. Для решения поставленной задачи этого достаточно. Т. Б. Хейтс решает ее как чисто геометрическую, заметив, что «картина» (схема строения бассейна) очень напоминает фигуру, которая в проективной геометрии называется перспективой. Затем он интерпретирует результат геологически и устанавливает границы применимости своего метода: для скважин, расположенных на расстоянии менее 10 миль друг от друга.

Рассуждения Т. Б. Хейтса о том, почему бассейны имеют такие характерные особенности, что влияло на их образование, как в одни и те же временные интервалы могли отложиться слои различной мощности, по отношению к решаемой им задаче корреляции предельно ясны. Они нужны, если именно они позволяют исследователю подойти к тому, что составляет теорию явления — модель. В отличие от модельных (теоретических) представлений, предельно ясные представления могут быть неоднозначными, нестрогими и просто произвольными.

В случае вернеровской модели слоистой структуры предельно ясными являются представления А. Вернера об участии негравитационных причин в образовании слоистых толщ, а модель начинается с результата этих представлений: «...по всему пространству земного шара те же непрерывные слои лежат один на другом в правильном порядке наподобие лепестков луковицы» (Спенсер, 1866. С. 292). В работах Ю. С. Салина (1974, 1979, 1983), Ю. С. Салина и В. И. Синюкова (1976) стратиграфия строится без предельно ясных историко-генетических посылок, модель Вернера развивается в последовательность усложняющихся моделей, в каждой из которых конструируется свой «луковичный лепесток».

Точно так же классическая механика представляет собой последовательность усложняющихся моделей: ньютонова механика, лагранжева механика, гамильтонова механика, и сама обобщается релятивистской механикой. И этим обобщения не заканчиваются.

1.7. Тщательные опыты по изучению движения тел впервые произвел Г. Галилей. Они позволили установить закон инерции: если на тело не действуют другие тела, то тело сохраняет состояние покоя или равномерного движения. Этот закон не выражается формулой. Но действия тел друг на друга, создающие ускорения, называют силами. Установлен второй закон Ньютона, который выражается простой формулой:  $F = ma$ . Здесь заключен, как частный случай, закон инерции: если  $F = 0$ , то и  $a = 0$ . Кроме

того, на пути к этой формуле сформировались физические понятия: сила, ускорение, масса.

Всякое обобщение модели ведет к формированию новых понятий, изменению содержания старых. Например, в обобщающей механике Ньютона механике Эйнштейна масса перестает быть постоянной — меняет свое содержание.

1.8. И всюду математика направляет, формирует, служит средством выражения, вооружает «числом и мерой», дает критерии оценки. И этот процесс развития естествознания нигде не идет гладко. Ни в физике, выбираемой за образец многими геологами, ни в других естественных науках. И обходных путей для геологии нет, какими бы уникальными ни казались объекты ее изучения. «Именно на модельных объектах отрабатываются методы решения некоторых классов задач. Далее оказывается, что аналогичные методы могут прилагаться для решения родственных реальных задач. При этом получают некоторые рекомендации, относительно которых обычно трудно показать, что они являются наилучшими. Тем не менее во многих практически важных случаях они несомненно дают высокоэффективное решение. Время не ждет, и подчас за неимением лучшего приходится ограничиваться такими методами в надежде на то, что в процессе дальнейших работ удастся глубже разобраться в изучаемых явлениях и найти для новых классов задач строго обоснованные методы получения решений. Разумеется, действия по аналогии со строгими рекомендациями, данными на уровне модельных объектов, следует считать много более рациональными, чем действия, опирающиеся лишь на совсем шаткие основания интуитивного характера» (Ляпунов, 1966. С. 45).

Я привожу эту цитату для контраста с предыдущим высказыванием того же А. А. Ляпунова об отождествлении действительности и модели в классических разделах физики. Очень важно отдавать себе отчет в том, насколько устоялись, насколько вписались в теорию (последовательность усложняющихся моделей) те или иные понятия, насколько математическая интерпретация содержательной задачи сохраняет это содержание. «Следует с недоверием относиться к любым результатам, которые, несмотря на достаточно продолжительное обсуждение и объяснение, не удается представить в виде, адекватном исходной задаче» (Бейли, 1962. С. 12).

1.9. Установление соответствия между понятиями, методами и задачами математики и геологии далеко не механическое занятие. При любой схематизации объекта или явления необходимо выделить существенные его свойства, те, что должны быть сохранены в математической модели.

Посмотрим, как обстоит дело с соответствием в вышеупомянутых моделях Хейтса и Вернера. Задача корреляции для осадочного бассейна, рассматриваемого Т. Б. Хейтсом, становится геометрической задачей, как только выполнен чертеж, схема

строения бассейна. Соответствующая математическая задача Т. Б. Хейтсом не ставится, соответствие объектов геологии математическим не устанавливается (более того, никакие реальные — соответствующие прямым и точкам перспективы — геологические объекты и не рассматриваются), и это не мешает решать задачу. Но исключительно потому, что данный геологический объект геометричен. Нет и других — содержательных, негеометрических — методов, нет геологической теории, дающей средства для решения этой задачи.

Сложнее обстоит дело со слоистой вернеровской толщей. Некоторые основные — в том числе неопределяемые — понятия стратиграфии Ю. С. Салиным выделены, их связь с математикой рассматривается в следующих главах. Но соответствие между объектами геологии и математики может быть установлено различно (одним и тем же геологическим понятиям — различные математические), важна не возможность соответствия, а конструктивность, следствия из него. Приведу пример бесплодного, хотя и полного, соответствия геологических понятий и задачи математическим понятиям и задаче. Поскольку стратиграфия изучает соотношения слоев в слоистых толщах, можно попытаться ставить ее задачи в терминах теории графов. «Теория графов служит математической моделью для всякой системы, содержащей бинарное отношение» (Харари, 1973. С. 9). Действительно, для задачи построения стратиграфической шкалы в постановке Ю. С. Салина (1974) можно предложить в качестве соответствующей такую математическую задачу: в конечном орграфе  $\Gamma$  со взвешенными вершинами найти простой контур  $K$  с наибольшим весом.

Соответствие устанавливается так: стратиграфические признаки (точки) с заданным (наблюдаемым) на них отношением «выше» (или «ниже») — орграф  $\Gamma$ , стратиграфическая шкала — контур  $K$ , вес — содержательный критерий, выраженный натуральным числом. Если бы такая задача в теории графов была поставлена и решена, это соответствие не было бы бесплодным. Но такая задача в теории графов не ставилась, нет методов, позволяющих найти в произвольном орграфе  $\Gamma$  такой контур  $K$ , и, кроме того, на самом деле орграф  $\Gamma$  произволен, но математика не дает средств для установления этой произвольности, обусловленной содержанием задачи, и, наконец, стратиграфическая шкала обладает и другими свойствами, которые могут быть существеннее того, что она простой контур в орграфе  $\Gamma$ .

Если удовлетворяться приблизительным соответствием между содержательной и математической задачами, то «произвол переносится из области выбора решения в область выбора математической модели», что «в каком-то смысле хуже, так как создает видимость научного обоснования там, где его по существу нет» (Вентцель, 1972. С. 103).

1.10. Безусловно, «математика вырастает как универсальное средство всякой науки. Такой она была, впрочем, с самого начала,

ибо ни одна наука не обходится без счета, но теперь дело идет о применении математики не только в решении несравненно более сложных задач, но и в самом *формировании понятий и теоретических представлений* (выделено мной.— Е. Г.) в той или иной науке, как это было уже давно в физике или в сравнительно недавнее время стало в экономике или лингвистике» (Александров, 1970. С. 250). Объекты и задачи геологии слишком сложны и специфичны для того, чтобы ее могли удовлетворить общенаучные математические понятия, основанные на связях столь абстрактных, что они просто всеобщы (как счет): множество, отношение, функция, матрица и т. п. По этой же причине она не может обойтись понятиями других естественных наук: физики, химии, биологии, географии. Математика должна проникнуть в суть геологии, геология — создать свои геологические понятия, предъявляя к ним строгие математические требования. «Определения должны подчиняться некоторым условиям, бывают хорошие и плохие определения, в то время как обычно говорят «определения свободны». Я никогда не мог понять этой фразы; я не знаю, ни о какой свободе идет речь, ни в каком смысле употребляется здесь термин «определение». Если это слово употреблено в смысле «наименования», то действительно, каждый свободен вводить свой собственный язык, рискуя даже иногда остаться непонятым. Если же оно употреблено в смысле «установления» и претендуя на то, что каждый волен сделать предметом своих размышлений все, что угодно, то приведенная фраза тоже справедлива, но при этом есть опасение остаться со своими размышлениями в полном одиночестве, без пользы для развития науки. Как бы там ни было, для нас, смотрящих на математику как на прикладную науку, определения несвободны; по крайней мере некоторые из них несвободны, а именно те, которые должны уточнять понятия, возникшие из практики. Для таких определений условие непротиворечивости, подразумеваемое даже сторонниками «свободы» определений, не является единственным необходимым условием» (Лебег, 1960. С. 123). И далее конкретный пример несвободы определений: «Если смотреть на математику как на чисто логическую науку, то нам будет нечем руководствоваться при поисках определений площади и длины, так как эти определения свободны. Если же смотреть на математику как на прикладную науку, то связь с техническими приемами измерения приведет нас к двум (поскольку имеются две техники измерения площадей) хорошим определениям. Согласованность вычислений объясняет согласованность этих техник и указывает на наличие одного единственного физического понятия длины и одного единственного понятия площади» (Там же. С. 148).

Поскольку определения в геологии должны уточнять понятия, возникшие из практики, а не служить для наименования или установления, все они несвободны. Это означает, что за каждым определением должна стоять процедура построения

соответствующего понятия из наблюдений или измерений, из других, уже хорошо определенных (в смысле Лебега), понятий.

1.11. К сожалению, такие понятия в геологии — большая редкость. Например, введенное в 1840 г. А. Грессли понятие «фация». «Концепция фаций учит нас, что характер породы (в зависимости от палеогеографических условий ее образования) может резко меняться по горизонтали и что, принимая во внимание только вещественный состав пород, мы разрываем все их естественные связи» (Шиндевольф, 1975. С. 23). Понятие «фация» здесь не конструируется, но опирается на модельные представления о строении стратиграфического подразделения (это понятие О. Шиндевольфом подразумевается): допускается литологическая изменчивость по простиранию. В таком виде определение допускает уточнения, которые связаны с решением задачи стратиграфической корреляции, с процедурой установления непрерывных стратиграфических подразделений (см. далее гл. 3—4).

Понятия существуют не сами по себе, а в рамках теоретических представлений (моделей). «Термин-понятие имеет содержание и смысл только в теоретической системе, что иногда упускается из виду при попытках упорядочения научного языка через терминологические комиссии, номенклатурные правила и тому подобные искусственные соглашения (конвенциональным путем). Практически отбор терминов в развитии науки зависит от конкурентоспособности включающей его теории, а не от приоритета, соглашений или этимологии» (Круть, 1978. С. 54). Не только математик, но любой ученый, занимающийся теоретической наукой, «не ищет новых открытий, он пытается осознать богатства, которыми он бессознательно владеет и которые уже кроются в определениях и аксиомах. Отсюда первостепенное значение определений и аксиом, которые, конечно, могут быть признаны логически допустимыми лишь при условии своей совместности, но которые привели бы к чисто формальной, лишенной смысла науке, если бы они не имели отношения к действительности» (Лебег, 1960. С. 198).

Критерием жизнеспособности понятий является их взаимосвязь: чем богаче связи между независимо введенными понятиями, тем лучше. Если понятие допускает обобщение, оно живет — это диалектика в действии — «тарабарщина безопасна от опровержений, имеющие смысл предложения могут быть опровергнуты расширением понятий» (Лакатос, 1967. С. 142). Исключение составляют научные достижения, выраженные «числом и мерой». «Постоянная Планка в течение ее короткой жизни с 1900 года словесно выражалась различными способами, однако все эти изменения несколько не повлияли на ее числовое значение. Что бы ни случилось с квантовой теорией в дальнейшем, можно быть уверенным, что постоянная  $h$  сохранит свое значение. То же самое можно сказать и о  $m$  и  $e$ , то есть о заряде и массе электрона. Электроны могут полностью исчезнуть из основных принципов

физики, но  $e$  и  $m$ , безусловно, выживут. В известном смысле можно сказать, что открытие и измерение этих постоянных является наиболее прочным достижением современной физики» (Рассел, 1957. С. 65).

Таким образом, произвольные предмодельные представления могут лишь предшествовать модельным представлениям о строении геологического объекта, в рамках которых только и имеют смысл определения, позволяющие однозначно конструировать соответствующие совместные взаимосвязанные геологические понятия. Дать хорошие определения минимальному числу необходимых понятий и установить все богатство связей между ними в рамках соответствующих моделей — задача теоретической геологии.

## ГЛАВА 2.

### СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ЗАДАЧАХ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЯХ В СТРАТИГРАФИИ

*Определяйте значения слов, и вы избавите человечество от половины недо-  
разумений.*

Р. Декарт

4966  
2.1. «В стратиграфии, как в геологии вообще, цели и задачи не имеют четкой формулировки. Обычно не указывается, что дано, что требуется найти, каковы средства решения и граничные условия, как будет проверяться полученный результат» (Стратиграфия и математика, 1974. С. 22). Договоримся о слове «задача», особо выделив задачи в широком и узком смысле. Задача в широком смысле «предполагает необходимость сознательного поиска соответствующего средства для достижения ясно видимой, но непосредственно недоступной цели» (Пойа, 1975. С. 143). Решение этой задачи есть нахождение этого средства. Задача в узком смысле предполагает существование теории, в пределах которой она ставится, средствами которой решается. Это, например, задачи из школьного или вузовского учебников: они позволяют лучше понять и запомнить основные законы физики, химии, теоремы математики и т. п., развивают навык применения полученных знаний для решения конкретных вопросов, имеющих практическое и познавательное значение. Без твердого знания теории никогда нельзя рассчитывать на успешное решение и анализ даже сравнительно простых задач. Решение таких задач сводится либо к объяснению явления с точки зрения законов, либо — расчетные задачи — к составлению уравнений, представляющих собой математическое выражение законов (физики, химии). В результате такой записи задача почти полностью сводится к математической. После решения последней остается проанализировать результат, убедиться в том, что он имеет содержательный смысл, отбросить посторонние решения (например, отрицательная длина). Для иллюстрации можно привести простую задачу по геометрической оптике.

**ЗАДАЧА.** Диаметр отверстия выпуклого сферического зеркала радиуса  $R$  равен  $D$ . С какого минимального расстояния человек может видеть себя во весь рост, если рост его равен  $H$ ?

В решении этой задачи существенную роль играет чертеж (рис. 1). Искомое расстояние  $d = R(H - 2D)$  определяется из системы трех уравнений с тремя неизвестными, два из которых являются законами оптики, а третье составлено на основании чертежа: подобие треугольников  $AA_1B_1$  и  $AMN$ . Человек видит себя в зеркале во весь рост, если рост его больше, чем двойной диаметр зеркала.

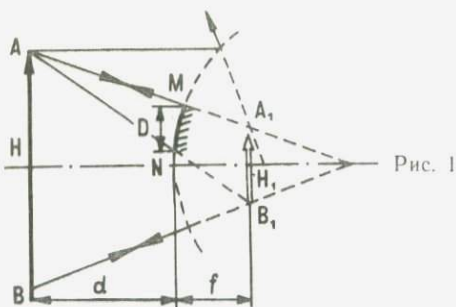


Рис. 1

2.2. О необходимости постановки задач пишут Ю. А. Воронин и Э. А. Еганов. По их мнению, постановка любой задачи «сводится к указанию того, (1) что задано экспериментально и теоретически; (2) что предполагается и допускается; (3) что требуется узнать; (4) как можно найти решение; (5) как оценить решение» (Воронин, Еганов, 1974. С. 14). Однако эти требования есть требования к задачам в узком смысле, поскольку они равносильны требованию существования теории, в пределах и средствами которой задача ставится и решается.

В приведенной задаче соответственно: (1) заданы  $R$ ,  $D$ ,  $H$  (кроме того, известно или можно установить, что задача относится к геометрической оптике); (2) допускается пренебречь малой кривизной  $MN$ ; (3) требуется найти расстояние  $d$ ; (4) решение ищется с помощью законов геометрической оптики и свойств сферического зеркала; (5) решение должно быть положительным числом.

К постановке таких задач никоим образом не применимы замечания: «постановка задач — в значительной мере искусство», «они не гарантируют возможность получения решения, тем более наилучшего из решений», «их ценность зависит от ценности определяемых ими результатов», «постановки нельзя обосновать» (Воронин, Еганов, 1974. С. 21). Эти замечания можно отнести лишь к процессу научного исследования, в ходе которого постановка цели — задачи в широком смысле — определяется в значительной мере уровнем квалификации и талантом исследователя,

получение результатов не гарантируется, обосновать направление часто трудно, даже невозможно, ценность зависит от получаемых результатов, а что считать результатом — тоже подчас проблема. Но к задачам в широком смысле совершенно неприложимы требования (1) — (5). Очевидно, что научное исследование нельзя уложить в эти требования.<sup>7</sup>

2.3. К задачам в узком смысле относятся практически те же требования А. Н. Дмитриева: «Содержательная постановка прикладной геологической задачи имеет место в том и только том случае, когда исследователь располагает: а) однозначно сформулированным целеуказанием; б) отвечающей целеуказанию информацией об исследуемых объектах; в) перечнем логических и алгоритмических средств исследования информационного материала; г) реальной возможностью применения средств алгоритмического решения вручную или на ЭВМ; д) профессиональной заинтересованностью в полученных результатах» (1976. С. 11). Здесь вынесено на первое место «что требуется узнать», *в, г* соответствуют пункту «как найти решение», а *д* относится, скорее, к этической стороне научной работы.

Оценка результатов А. Н. Дмитриевым обсуждена подробно и включает следующее: «Конкретность, простота и наглядность изложения. Полнота и последовательность использования результатов решения. Независимость от целеуказания. ...При интерпретации не следует пытаться путем натяжек совместить полученные результаты с результатами, ожидаемыми согласно целеуказанию. Эта независимость может помочь обнаружить факты, не предусмотренные первоначальной постановкой задачи. Кроме того, бывает полезным иметь представление о ценности полученных результатов относительно видоизмененной формулировки целеуказания. Независимость от «внешней» информации. ...Зачастую интерпретатор (геолог) начинает бессознательно (а иногда и сознательно) расширять совокупность используемых признаков, причем делать это раньше того момента, когда будет готово обобщение материала, основанное на исходном табличном перечне признаков. Эта ситуация является основным источником обесценивания результатов решения, поскольку они попадают в сферу произвола, обусловленного уровнем осведомленности и профессиональной подготовки интерпретатора» (1976. С. 18—19). Отсюда можно сделать вывод, что сам А. Н. Дмитриев, имея дело с геологическими задачами, выходит из программы пунктов а — г: может быть нечто ценное в результате, не предусмотренное первоначальной постановкой задачи, видоизменяется «для пользы дела» целеуказание. Стандартный оборот математических теорем «в том и только том случае» (необходимость и достаточность) предваряет в данном случае недоказуемое. Все потому, что теории, в которой ставится задача, нет, и попытки уложить процесс научного исследования в перечень необходимого и достаточного бессмысленны.

2.4. Гораздо более полезны (до тех пор, пока мы мало знаем о закономерностях процесса исследования, творчества) такие рекомендации: «1. Чтобы решить какую-нибудь задачу, мы должны иметь определенный запас знаний в той области, к которой наша задача относится, и нам приходится собирать и отбирать все имеющиеся у нас сведения, связанные с нашей задачей. Эти сведения до начала решения были лишь потенциальными. ...Восстановление в памяти сведений, относящихся к задаче, можно назвать мобилизацией. 2. ...Мы должны комбинировать эти факты, и их комбинация должна быть хорошо приспособлена к решению имеющейся у нас задачи. ...Эту работу по приспособлению и комбинированию фактов можно назвать организацией. 3. По существу, отделить организацию от мобилизации невозможно. ...4. Другой аспект продвижения в работе заключается в том, что характер нашего понимания задачи меняется. ...5. Нам никогда не удалось бы прийти к точному и окончательному решению, не прибегнув к соображениям лишь правдоподобного и предварительного характера. Нам необходимо эвристическое рассуждение» (Пойа, 1961. С. 149—150).

Д. Пойа имеет в виду практические задачи, которые, «как правило, далеки от того, чтобы быть правильно поставленными» (Там же. С. 65). Для них могут выполняться некоторые условия, сформулированные в (1) — (5) или  $a - g$ .

2.5. Вернемся к стратиграфии.

*«Стратиграфические исследования при всем разнообразии их методики имеют своей конечной целью решение двух основных задач. Первой из них является стратиграфическое расчленение разреза, т. е. возможно более детальное выяснение последовательности напластования и характерных особенностей различных толщ и слоев в отдельном непосредственно изучаемом разрезе. Второй — стратиграфическая корреляция, под которой понимается сопоставление между собой и установление возрастных соотношений отложений различных более или менее удаленных друг от друга разрезов без непосредственного непрерывного прослеживания соответствующих горизонтов» (Степанов, 1958. С. 13—14).*

Эта формулировка задачи в широком смысле нуждается в уточнении. Необходимы определения (в смысле Лебега) для всех входящих в нее понятий: напластование, разрез, возрастные соотношения, горизонт. Такие определения могут быть даны лишь в рамках теории (модели), в противном же случае смысл понятий толкуется каждым специалистом в зависимости от его научных взглядов и представлений об этимологии и особенностях языка.

То же самое можно сказать о большинстве формулировок задач стратиграфии, собранных в терминологическом справочнике «Общая стратиграфия» (1979). Например:

*Описание разреза по слоям. — Необходимая основа изучения слоистых толщ. Начинается с типизации разреза, затем*

фиксируется вещественный состав и порядок расположения слоев в естественных выходах, горных выработках и кернях буровых скважин снизу вверх или сверху вниз с обязательным указанием порядка описания (ГС, 1973. Т. 2. С. 33).

Если известно, что такое разрез и его типизация, если вещественный состав всеми описывающими фиксируется одинаково, если порядок расположения слоев не вызывает разногласий (есть соответствующие процедуры установления порядка), то эта задача решается однозначно и решение ее воспроизводимо. В противном случае описание разреза становится искусством.

*Параллелизация пластов.*— Установление соответствия их друг другу по возрасту (ГС, 1973. Т. 2. С. 71).

Эта задача решается, если известен возраст пластов или способ установления.

*Синхронизация.*— Установление возрастных отношений (Стратиграфия и математика, 1974. С. 34).

Здесь явно не хватает упоминания об объектах, для которых устанавливаются возрастные отношения, должен существовать и способ такого установления.

*Корреляция.*

(1) Сопоставление и параллелизация данных слоев с другими, выступающими в других районах и других странах, часто весьма удаленных, но лучше изученных (Коровин, 1941. С. 39).

(2) Установление непрерывности пластов (Лоумен, 1953. С. 206).

(3) Сведение стратиграфических единиц, обладающих теми или иными общими признаками, к одному классификационному уровню (Красилов, 1971. С. 11).

(4) Решение вопроса: являются ли два одномерных тела различных разрезов частями одного и того же двумерного (трехмерного) тела, пересекающего оба разреза, или они являются частями разных двумерных (трехмерных) тел, одно из которых лежит выше другого (Салин, 1974. С. 139).

(5) Установление хронологического соответствия событий в шкалах разных регионов (Мейен, 1974. С. 21).

(6) Установление временной эквивалентности двух пространственно разобщенных стратиграфических единиц (Рауп, Стэнли, 1974. С. 328).

Здесь одним словом «корреляция» названы, вообще говоря, разные задачи сопоставления, в каждом случае должны быть определены соответствующие понятия, даны процедуры решения.

Термин «корреляция» употребляется также с различными эпитетами: возрастная, стратиграфическая, пространственная, литологическая, палеомагнитная и т. п. При этом в формулировках упоминаются еще данные, на основе которых производится со-

поставление, и нередко понятия, требующие своего определения. Например:

*Корреляция литологическая.*— Прослеживание некоторой формации от выхода к выходу или в разрезах близко расположенных скважин по литологическим признакам и стратиграфическому положению (Земля..., 1974. С. 237).

Что такое «прослеживание», «формация», «выход», «разрез», «близко расположенные скважины», «литологические признаки», «стратиграфическое положение»? Если за каждым термином не стоят придающие ему единственный смысл формулировка или процедура построения, то с этого должно начаться решение задачи литологической корреляции.

Дискуссии о смысле терминов ведутся геологами постоянно, но их содержание почти целиком сводится к спору о том, что как надо или не надо называть. Например:

*«Не следует расширять стратиграфический термин «корреляция», и сопоставление чисто литологических подразделений лучше называть фаціальным соответствием. Точно так же сопоставление отложений, содержащих одинаковую фауну (когда они рассматриваются вне их хронологического значения), мы будем называть фаунистическим соответствием. Из этого следует, что корреляция подразумевает исключительно хронологические соотношения»* (Данбар, Роджерс, 1962. С. 287—288).

Но есть еще задача синхронизации и исследователи, считающие необходимым вкладывать различный смысл в термины «корреляция» и «синхронизация», отнюдь не считая их синонимами (Степанов, 1958), есть еще задачи «параллелизации» и «установления относительного возраста». Словом, «обилие наименований и понятий таит в себе опасность отвлечения внимания от главной задачи — осмысливания основ стратиграфии и ее главных проблем, логическая структура которых представляется мне очень простой» (Шиндевольф, 1975. С. 15).

Формулировка (4), напротив, является сознательной попыткой свести несколько задач к одной, и, «по-видимому, к такой формулировке может быть сведено большинство задач установления фаунистических, литологических соответствий, все задачи установления литологической, фаунистической непрерывности, а также задача установления синонимии угольных пластов» (Стратиграфия и математика, 1974. С. 34). К обобщению стремится Ю. А. Воронин с соавторами: «получить общее формальное описание проблемы упорядочения объектов применительно к нуждам геологии», поскольку «многие задачи геологии, например, задача определения относительного геологического возраста геологических тел и их экономической оценки, сводятся к установлению отношений строгого порядка на классах эквивалентности геологических тел. Установление такого отношения предшествует

и решению многих задач геологии, например, задаче выделения формаций» (Воронин и др., 1974. С. 119).

Таким образом, «формальный подход» основан на выводе о том, что основными для стратиграфии являются некие отношения, которые известны в математике как отношения порядка и эквивалентности.

2.6. В стратиграфии имена этих отношений разнообразны: «выше—ниже», «стратиграфическая последовательность», «геологическая разновозрастность», «моложе—древнее», «гомотаксис», «гомотаксальность», «одновозрастность», «геологическая одновозрастность», «одновременность», «геологическая одновременность», «одновременность в хронологии» и др. (Общая стратиграфия, 1979).

Основанием для такого разнообразия может быть только различие в содержании. Однако:

*Отношение «выше—ниже».*

(1) Из признания принципа органической эволюции следует, что в непрерывной последовательности слоев, содержащих окаменелости, слои с отпечатками более высокоразвитых растений и животных находятся стратиграфически выше отложений с формами менее сложными (Шрок, 1950. С. 32).

(2) Если два геологических тела  $A(i)$  и  $A(k)$  лежат внутри телесного угла  $\Omega$ , под которым они видны из начала геоцентрической системы координат, то будем говорить, что  $A(i)$  выше  $A(k)$ , если 1) либо для всех точек  $a(i)$  тела  $A(i)$  и всех точек  $a(k)$  тела  $A(k)$  расстояния  $r(i)$  от  $a(i)$  до начала координат и расстояния  $r(k)$  от  $a(k)$  до начала координат связаны соотношением  $r(i) \geq r(k)$ ; 2) либо для всех  $r(k)$  имеет место  $r(k) \leq r_0$  и существуют такие  $r(i)$ , что  $r(i) \geq r_0$ ; или для всех  $r(i)$  имеет место  $r(i) \geq r_0$  и существуют такие  $r(k)$ , что  $r(k) > r_0$ . Будем говорить, что  $A(i)$  ниже  $A(k)$ , если а) либо для всех  $a(i)$  и  $a(k)$  имеет место  $r(i) \leq r(k)$ ; б) либо для всех  $r(i)$  имеет место  $r(i) \leq r(k)$  и существуют такие  $r(k)$ , что  $r(k) > r_0$ , или для всех  $r(k)$  имеет место  $r(k) \geq r_0$  и существуют такие  $r(i)$ , что  $r(i) < r_0$ . (Геология и математика, 1967. С. 193).

(3) Точка «а» лежит выше точки «б» в том и только том случае, если обе они находятся на одной вертикали и абсолютная отметка точки «а» больше, чем отметка точки «б». Тело  $A$  тогда и только тогда лежит выше тела  $B$ , когда любая точка тела  $A$  лежит выше любой точки тела  $B$ , находящейся на одной с ней вертикали (Салин, 1974. С. 141).

Очевидно, что в этих трех формулировках одним и тем же словом названы различные отношения. По первой, «стратиграфически выше» означает: содержать более сложные формы; кроме того, здесь содержится ссылка на принцип органической эволюции, т. е. это выход за пределы стратиграфии. По второй, в основе определения лежит физическое (статическое) представление: одно тело лежит на другом и не падает. Третья формулировка —

попытка геометризовать отношения стратиграфии, свести их к очевидным, уйти от обыденного языка и обыденных представлений.

*Стратиграфическая последовательность.* — *Возрастное соотношение слоев осадочных пород, образующихся в процессе наложения один на другой; любой слой в этой серии будет моложе, чем слой, залегающий под ним, и древнее вышележащего пласта при условии, что серия не наклонена или опрокинута при последующих деформациях (Лахи, 1966. С. 128).*

В этой формулировке фигурируют еще несколько понятий: «возрастное соотношение», «осадочные породы» (упомянут и процесс их образования — существенно?), «серия», «слой», «пласт» (синоним «слоя»?), «моложе—древнее», «наклонена», «опрокинута», «последующие деформации». Все эти слова должны быть употреблены в одном определенном смысле. Это условие необходимо для научного текста. Если что-то остается без словесного определения, но всеми понимается одинаково («деформация»? «осадочные породы?»), то и это отсутствие дефиниции должно быть обосновано.

*Геологическая разновозрастность.* — *Отношения, устанавливаемые по несходству признаков системы, отвечающей требованию: для любых пар признаков  $\alpha$  и  $\beta$  этой системы отношения между телами, обладающими этими признаками, должны быть одинаковыми во всех разрезах: либо  $\alpha$  везде выше  $\beta$ , либо наоборот (Косыгин и др., 1974. С. 48).*

Эту формулировку нельзя считать определением геологической разновозрастности. Четко высказано требование к системе признаков ( $\alpha$  либо везде выше  $\beta$ , либо наоборот), отношения геологической разновозрастности устанавливаются по несходству признаков этой системы, но как?

*Моложе—древнее.*

(1) При горизонтальном более или менее положении пластов верхние из них всегда моложе нижних (Соколов, 1842. Т. 2. С. 16).

(2) Если пласты не опрокинуты и не изменены в составе своем, тот из них, который залегает сверху, моложе всех тех, которые расположены ниже него (Венюков, 1865. С. 84—85).

(3) Если каким-нибудь образом достоверно известно, что одна и та же порода В древнее породы С, но притом позднейшего образования, нежели третья порода А, не находящаяся в непосредственной связи с породой С, то последняя должна быть во всяком случае новее, нежели А. Выражаясь математически: А древнее В, В древнее С, следовательно, А древнее С (Котта, 1862. С. 97—98).

(4) При нормальном горизонтальном залегании пласт, лежащий выше, всегда моложе того, который лежит ниже (Траутшольд, 1877. С. 31).

(5) Слои, налегающий на другой, моложе его по геологическому возрасту, так как образован позднее, и, наоборот, подстилающий слой всегда старше лежащего на нем (Пабст, Зиперт, 1906. С. 50).

(6) Вышележащий слой моложе того, который его подстилает, но соответствует ли он той эпохе, которая непосредственно следует за эпохой отложения нижележащего пласта или значительно более поздней, об этом последовательность напластования сама по себе ничего не говорит, и вопрос решается определенно лишь на основании палеонтологических данных (Левинсон-Лессинг, 1923. С. 277).

(7) При ненарушенном напластовании из двух пластов осадочных пород пласт кроющий моложе подстилающего (Михайловский, 1913. С. 15).

(8) При нормальной последовательности слоев в исследуемой толще пород подстилающий всегда древнее покрывающего и наоборот (Коровин, 1941. С. 21).

(9) Если пласты выходят в одном разрезе, то каждый налегающий пласт моложе того, на который он ложится, или иначе — чем выше в разрезе лежит пласт, тем он моложе (Страхов, 1948. Т. 1. С. 11).

(10) Если пласты лежат в ненарушенном залегании, то очевидно, что нижележащие слои образовались раньше, чем вышележащие, и что каждый из вышерасположенных пластов будет моложе нижележащего пласта (Яковлев, 1948. С. 411. Близкое определение: Степанов, 1954; Халфин, 1967; Садыков, 1974).

Из всех этих высказываний с уверенностью можно сделать вывод: отношения «моложе—древнее» связаны с отношениями «выше—ниже». Б. фон Котта требует транзитивности отношения «моложе—древнее». Отношения «выше—ниже» являются наблюдаемыми и могут быть нарушены. «Иногда порядок пластов бывает расстроен в такой степени, что нижние обратились в верхние и, наоборот, верхние сделались нижними» (Соколов, 1842. Т. 2. С. 16). А следовательно и связь между отношениями «моложе—древнее» и «выше—ниже» не совсем прямая — если выше, то моложе — и должна быть выяснена (построена) в рамках теоретической модели.

#### *Гомотаксис.*

(1) Одинаковое положение стратиграфической последовательности отложений (по Гексли; цит. по: Левинсон-Лессинг, 1923. С. 278).

(2) Одинаковое или сходное положение сравниваемых фаун и связанных с ними формаций (Коровин, 1941. С. 45).

(3) Сходство в порядке, последовательности напластований, независимое от хронологических соотношений (по Гексли; цит. по: Давиташвили, 1950. С. 435).

В двух первых высказываниях фигурирует одинаковость положения, но различны объекты. В третьем на первое место выдвигнута независимость от хронологических соотношений.

*Гомотаксальность.*— Сходное место в последовательности образования пород во времени (Македонов, 1968. С. 11).

Утверждать, что «гомотаксис» и «гомотаксальность» связаны или являются одним и тем же понятием, нельзя. Последовательность образования пород во времени — уже процесс. «Гомотаксис» предложен Т. Гексли вместо термина «геологическая одновозрастность», «неясного и двусмысленного» (Давиташвили, 1950), «гомотаксальность» считается синонимом «геологической одновременности» (Македонов, 1968) и «равноценности» (Либрович, 1948; Шиндевольф, 1975).

*Геологическая одновременность.*— Промежуток времени, в течение которого не произошло значительных (т. е. обнаруживаемых палеонтологическим анализом) изменений в составе животного и растительного мира (Грюше, 1948. С. 38).

Подобное высказывание интерпретировать крайне затруднительно, и никакого отношения между какими бы то ни было объектами оно не определяет.

*Одновозрастность.*

(1) Слои, отмеченные одними и теми же ископаемыми, входящими в правильную последовательность, принадлежат одному и тому же геологическому подразделению или имеют одинаковый возраст (Неймайр, 1919. С. 32).

(2) Одинаковые окаменелости свидетельствуют об одинаковом возрасте слоев. Отсюда вовсе не следует обратное, т. е. что неодинаковость окаменелостей обязательно доказывает различный возраст слоев (Брюкнер, 1903. С. 37—38).

(3) Слои, содержащие остатки сходных фаун и флор, являются одновозрастными (по Смиту, Кювье, Броньяру; цит. по: Жижченко, 1969. С. 8).

(4) Литологически сходные породы, формировавшиеся в одинаковых условиях, являются одновозрастными (Там же. С. 8).

(5) Два геологических тела в нормальном геологическом пространстве одновозрастны, если они накрыты одним и тем же телом, лежат на одном и том же теле, не лежат друг на друге и известно, что покрывающее тело лежит выше подстилающего (Геология и математика, 1967. С. 194).

В формулировке (1) основой для установления одинакового возраста служит «правильная последовательность ископаемых», чего нет в двух последующих формулировках. Формулировка (4) содержит ссылку на процессы формирования пород, которые невозможно восстановить однозначно. Формулировка (5) связывает отношение одновозрастности с отношением «выше—ниже», чего

нет в предыдущих высказываниях. Синонимом объявлена «эквивалентность» (Брюкнер, 1903).

### *Геологическая разновозрастность.*

(1) *Осадочные породы, содержащие одинаковые фауны, мы вообще считаем породами одного геологического возраста. Обратное положение, что по различию двух фаун можно заключить о различном возрасте заключающих их слоев, нельзя применять без существенных ограничений, так как изменения в фациальном развитии осадочной породы обыкновенно сопровождаются и соответствующими изменениями в фауне (Динер, 1934. С. 136).*

(2) *Геологически разновозрастными назовем отложения, формировавшиеся в пределах биозоны архистратиграфического, в том числе и ортохронологического вида (Халфин, 1973. С. 4).*

(3) *Отношение, устанавливаемое по сходству признаков, которые составляют систему, отвечающую таким требованиям: для любой пары признаков  $\alpha$  и  $\beta$  этой системы отношения между телами, обладающими этими признаками, должны быть одинаковыми во всех разрезах — либо  $\alpha$  везде выше  $\beta$ , либо наоборот (Косыгин и др., 1974. С. 48).*

Первая формулировка совпадает с формулировкой (2), относящейся к разновозрастности, вторая содержит ссылку на процесс формирования отложений — восстанавливаемый процесс — и включает в себя другие, нуждающиеся в определениях, понятия. В формулировке (3) умалчивается о том, как по сходству признаков устанавливается отношение геологической разновозрастности.

### *Одновременность.*

(1) *Осадки, содержащие общие формы органических остатков, образовались одновременно (Иностранцев, 1889. С. 153).*

(2) *Если слои содержат одни и те же или почти одни и те же окаменелости и занимают одинаковое положение относительно других слоев, то мы смотрим на них как на одновременные памятники. Одновременность эта понимается в том смысле, что они принадлежат к одному периоду, в течение которого совершались определенные события (Лайель, 1866. С. 243).*

(3) *По сходным окаменелостям можно с некоторой вероятностью заключать об одновременности осадков (Неймайр, 1902. С. 4).*

В первой формулировке «одновременность» есть то же, что «одновозрастность» в формулировках (2) и (3). Из второй можно с уверенностью заключить, что речь идет не об измеряемом физическом времени, что в геологии другая, своя одновременность. Третья констатирует неуверенность в том, что по сходным окаменелостям можно заключить об одновозрастности осадков, поскольку «с некоторой вероятностью» здесь не более, чем обыденное выражение.

*Одновременность в хронологии. — Соответствие, сопоставимость, тождественность по тем признакам (следам обстановок событий), на которых основана сама хронологическая шкала или сопоставляемые шкалы. О. и х. зависит от характера состояний и событий, из следов которых составлена шкала (Мейен, 1974. С. 21).*

Является это отношение одним или состоит из трех компонентов: соответствия, сопоставимости, тождественности? Если это соответствие — как устанавливается, сопоставимость — чем определяется? Или и соответствие, и сопоставимость употреблены как синонимы тождественности?

Все, за единичными исключениями, цитируемые авторы используют в качестве научного обиденный и насыщенный образы язык, постоянно апеллируя к обыденным представлениям и к тому, что называют профессиональной интуицией. Следствием этого являются противоречия и разночтения в формулировках, неясности, позволяющие по-разному их интерпретировать. О логической связи таким образом определяемых понятий (вернее, описываемых) приходится — не всегда успешно — догадываться. Более того, зачастую они скрыты и от самих авторов, считающих себя изучающими природу как она есть: объектами их изучения являются реальные природные объекты. На самом деле всякая наука конструирует свои понятия (объекты) в рамках теоретических представлений (моделей). Отождествление модельных объектов с реальной действительностью могут позволить себе теоретическая механика или математическая физика (см. в гл. 1) — им уже нельзя этим повредить, — но не теоретическая стратиграфия, которой сейчас совершенно необходим точный язык, позволяющий однозначно понимать сказанное. Каждое слово в формулировке, являющейся определением научного понятия, должно иметь единственный вполне определенный смысл. Образцы таких формулировок дают и математика, и физика. В стратиграфии же большинство попыток «уточнить понятие», «формализовать», «математизировать» малоуспешно, потому что принято не в рамках теоретической модели, а на основе существующих формулировок и общепринятой терминологии. «Традиционная ошибка заключается в предположении, что путаницу можно ликвидировать, разобравшись в истории и семантике термина, разъяснив, как «наиболее правильно» называть то или иное множество объектов» (Еганов, Ивановская, 1977. С. 85).

2.7. Только обращение к опыту практической работы стратиграфа позволяет разглядеть за всеми метаморфозами понятий стратиграфии простую логическую структуру этой науки, а именно: основными отношениями в стратиграфии являются отношения порядка («моложе—древнее») и отношение эквивалентности (одновозрастности или одновременности). «То, что эквивалентность является именно временной эквивалентностью, не всегда,

может быть, подчеркивалось, но всегда молчаливо подразумевалось как нечто само собой понятное» (Шиндевольф, 1975. С. 104).

Отношение порядка задается «правильной последовательностью ископаемых» или геохронологической шкалой и выводится (должно выводиться и по возможности совпадать — «закон Стенона»: что выше, то моложе) из наблюдаемого отношения «выше—ниже». Отношение эквивалентности определяется той же геохронологической шкалой — как можно ближе к «закону Смита»: одинаковое — одновозрастно. Геохронологическая шкала определяет геологическое время, которое не является физическим. Геохронологическая шкала позволяет расчленять и коррелировать разрезы, близко расположенные или удаленные. Геохронологическая шкала является центральным понятием всей стратиграфии, а построение этой «правильной последовательности» — важнейшей ее задачей.

2.8. Эта простая логическая структура стратиграфии имеет наиболее полную реализацию в вернеровской модели слоистой структуры (Салин, 1974, 1979, 1983а), которая допускает дополнения и усложнения, или, иначе говоря, обобщения.

Неопределяемые основные понятия и отношения: «признак», «разрез», «точка а выше точки b того же разреза» (точка b соответственно ниже точки a). Признаки — любые данные (литологические, палеонтологические, геофизические, геохимические и т. п.), с которыми имеет дело стратиграф при описании разреза. Разрез — это и буровая скважина, и обнажение вдоль морского или речного берега. Это последовательность наборов признаков, в которой каждый признак отнесен к некоторой точке разреза, каждый набор признаков — к неделимому интервалу разреза (слою). Построенный на основании наблюдаемых отношений «выше—ниже» между точками, которые обладают интересующими исследователя признаками, разрез можно мыслить как направленную вертикальную прямую (направление — порядок описания разреза: снизу вверх или сверху вниз).

Отношения «выше—ниже» — хорошо всем известные наблюдаемые отношения, на основании которых описывается разрез (составляется разрез). Существенно подчеркивание того, что эти отношения имеют смысл — являются наблюдаемыми — только для точек, принадлежащих одному и тому же разрезу. Нельзя сказать, основываясь только на наблюдении, которая из двух точек выше, если одна точка принадлежит разрезу Тринидада, а другая — разрезу Камчатки.

**О п р е д е л е н и е 1.** Если в каждом разрезе из данного множества разрезов D, где есть признаки A и B, точки с признаком A выше (ниже) точек с признаком B, то признак A выше (ниже) признака B на множестве разрезов D. Признаки A и B назовем стратифицирующими на множестве D.

Если признаки A и B хотя бы в одном разрезе встречены в одной точке или A хотя бы в одном разрезе выше (ниже) B, а в другом

В выше (ниже) А, то признаки А и В нестратифицирующие.

Если признаки А и В нигде не встречены в одном и том же разрезе, то они не имеют стратиграфических отношений.

Отношение стратифицируемости, таким образом определенное, имеет смысл для признаков, принадлежащих разным разрезам. Замечательно, что оно не является отношением порядка, так как не обладает свойством транзитивности. Если глина выше песчаника, а песчаник выше каких-нибудь окаменелостей, то мы не можем отсюда заключить, что глина выше окаменелостей: они могут не иметь стратиграфических отношений.

**О п р е д е л е н и е 2.** Последовательность признаков, в которой каждый следующий признак выше предыдущего на множестве разрезов D и выше (на D) или не имеет стратиграфических отношений с другими предыдущими признаками, называется стратифицирующей на множестве разрезов D.

Далее все рассуждения относятся к одному и тому же множеству разрезов D, и поэтому постоянные упоминания о нем опускаются.

Стратифицирующая последовательность признаков — шаг к «правильной последовательности», геохронологической шкале, по которой устанавливаются возрастные отношения («моложе—древнее», «одновозрастность»). Эти отношения должны по возможности совпадать с отношениями «выше—ниже», что соответствует модельным представлениям А. Вернера о том, что одни и те же слои лежат в правильном порядке друг на друге, огибая весь земной шар.

Геохронологическая шкала есть, прежде всего, стратифицирующая последовательность признаков: точка пространства, содержащая признак шкалы, тем древнее, чем меньше порядковый номер этого признака. Но по одному и тому же исходному материалу можно построить много стратифицирующих последовательностей признаков, задающих, вообще говоря, различные возрастные отношения, которые могут противоречить друг другу. В связи с этим Ю. С. Салин (1974) предложил считать геохронологической шкалой наилучшую стратиграфическую последовательность: дающую наиболее детальное расчленение и далекую корреляцию.

Проблеме построения геохронологической шкалы — основного инструмента стратиграфа — и посвящена настоящая работа.

### ГЛАВА 3. ПЕРЕБОРНЫЕ АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ НАИЛУЧШЕЙ СТРАТИФИЦИРУЮЩЕЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

*Популярно высказывание, что чистые математики решают то, что можно, так, как нужно, а прикладные — то, что нужно, так, как можно.*

*М. К л а й н*

3.1. Как уже было сказано, геохронологическая шкала по определению есть прежде всего стратифицирующая последовательность признаков. Но этого недостаточно: не всякая стратифицирующая последовательность годится на роль геохронологической шкалы. Следовательно, возникает задача построения наилучшей стратифицирующей последовательности или задача выбора этой наилучшей последовательности из нескольких стратифицирующих последовательностей признаков. Должен быть сформулирован и по возможности выражен числом и критерий качества: наиболее детальное расчленение и далёкая корреляция.

Первый такой числовой критерий: наилучшей стратифицирующей последовательностью является самая длинная (Салин, 1974) — недостаточно учитывает детальность расчленения и дальность корреляции (Салин, Солдатов, 1978). В качестве альтернативы выдвигается старый принцип стратиграфии — максимальная распространенность всех признаков, входящих в стратифицирующую последовательность. Признаки наилучшей стратифицирующей последовательности должны быть не только максимально распространенными, но и иметь возможно более узкий вертикальный (по разрезу) диапазон. Чем чаще встречается признак на исследуемой территории, чем уже его вертикальный диапазон, тем с большим числом других признаков он будет вступать в отношения стратифицируемости. Из имеющихся стратифицирующих последовательностей выберем ту, в которой сумма отношений стратифицируемости по всем ее признакам максимальна (Салин, Солдатов, 1978).

В той же работе был предложен первый переборный ал-

горитм построения стратифицирующих последовательностей, но первым реализован в программе для ЭВМ БЭСМ-6 в 1977 г. модернизированный мной переборный алгоритм, в котором выбор наилучшей последовательности осуществляется автоматически, и не после построения всех стратифицирующих последовательностей, а по мере их перебора. При всех дальнейших модификациях переборных алгоритмов эта существенная процедура остается неизменной.

3.2. *Алгоритм построения наилучшей стратифицирующей последовательности признаков.* В качестве исходного материала для построения стратифицирующих последовательностей признаков имеем послойные описания разрезов.

1. *Построение квадратной матрицы отношений.* Каждый  $s$ -й разрез зададим списком пар чисел  $(m_i^s, l_i^s)$ , первое из которых означает номер самого нижнего слоя, в котором встречен данный признак, второе — номер самого верхнего слоя, содержащего данный признак. Слои нумеруются снизу вверх. Если признак встречен не во всех разрезах, то его отсутствие обозначаем в списке соответствующего разреза парой  $(0,0)$ . Таким образом, каждый разрез будет представлен списком  $p$  пар чисел, где  $p$  — число различных признаков во всех разрезах, причем некоторые из этих пар, соответствующие отсутствующим в данном разрезе признакам, имеют вид  $(0,0)$ . Каждый признак будет представлен строкой пар чисел  $(m_i^s, l_i^s)$ , где число пар равно числу разрезов, а числа  $m_i^s$  и  $l_i^s$  — границы пространства  $i$ -го признака в  $s$ -м разрезе. Такое представление необходимо для машинной обработки материала.

Порядок матрицы  $p \times p$ . Заполнение ее начинаем с элемента  $a_{12}$ . Для этого по списку первого разреза сравниваем первый признак со вторым — пары чисел  $(m_1^1, l_1^1)$ ,  $(m_2^1, l_2^1)$ . Если хотя бы одна из этих пар нулевая, то  $a_{12} = 0$ . Если обе пары ненулевые, то сравниваем номер самого нижнего слоя, в котором встречен первый признак, с номером самого верхнего слоя, в котором встречен второй признак. Если  $m_1^1 > l_2^1$ , то это означает, что в первом разрезе все точки, обладающие первым признаком, расположены выше любой точки, обладающей вторым признаком, — элемент  $a_{12} = 1$ . Если это не так, то сравниваем номер самого нижнего слоя, в котором встречен первый признак, с номером самого верхнего слоя, в котором встречен второй признак. Если  $m_1^1 < l_2^1$ , то это означает, что в первом разрезе все точки, обладающие первым признаком, расположены ниже любой точки, обладающей вторым признаком, —  $a_{12} = 2$ . Если это не так, то  $a_{12} = 3$ . Точно так же сравниваем первый признак по списку первого разреза с третьим, четвертым и т. д. — в матрице заполняется первая строка  $a_{12}$ ,  $a_{13}$ , ...  $a_{1p}$ . Вторая строка заполняется, начиная с элемента  $a_{23}$  при сравнении второго признака по списку первого разреза с третьим, четвертым и т. д., третья строка — с элемен-

та  $a_{34}$  — третий признак по списку первого разреза сравнивается с четвертым, пятым и т. д.  $n-1$ -й признак сравниваем по списку первого разреза с  $n$ -м. В результате в матрице будет заполнен треугольник над главной диагональю. Элементы матрицы — числа 1 (выше), 2 (ниже), 0 (отсутствие стратиграфических отношений), 3 (отношения стратиграфического пересечения). Затем вносим в матрицу (в треугольник над главной диагональю) данные по второму разрезу, сравнивая первый признак по списку второго разреза — со всеми следующими — вторая строка и т. д. При этом элементы треугольника над диагональю меняем по правилам

$$\begin{array}{lll}
 2 \text{ и } 1 = 3 & 1 \text{ и } 1 = 1 & 2 \text{ и } 0 = 2 \\
 1 \text{ и } 2 = 3 & 2 \text{ и } 2 = 2 & 0 \text{ и } 2 = 2 \\
 3 \text{ и } 3 = 3 & 3 \text{ и } 1 = 3 & 0 \text{ и } 1 = 1 \\
 0 \text{ и } 3 = 3 & 3 \text{ и } 2 = 3 & 1 \text{ и } 3 = 3 \\
 0 \text{ и } 0 = 0 & 1 \text{ и } 0 = 1 & 2 \text{ и } 3 = 3.
 \end{array}$$

Теперь треугольник над главной диагональю задает отношения «выше—ниже» между признаками с учетом информации по всем разрезам. Чтобы иметь полную матрицу, достаточно отобразить этот треугольник через главную диагональ так, что если  $a_{ij} = 1$ , то  $a_{ji} = 2$ ; если  $a_{ij} = 2$ , то  $a_{ji} = 1$ ; если  $a_{ij} = 3$ , то  $a_{ji} = 3$ ; если  $a_{ij} = 0$ , то  $a_{ji} = 0$ .

2. *Построение геохронологической шкалы по матрице отношений.* Стратифицирующим последовательностям признаков соответствуют в нашем представлении ряды из номеров строк матрицы отношений такие, что строка матрицы, отвечающая любому члену ряда, кроме первого, имеет элемент 1 на пересечении со столбцом, соответствующим предыдущему члену ряда, и элементы 0 и 1 на пересечении со столбцами, соответствующими всем другим предыдущим членам ряда. Из всех таких рядов выбирается ряд, обладающий наибольшим весом.

Последовательность процедур. (1) Определяется количество элементов 1 и 2 в каждой из строк матрицы. Соответствующее число запоминается. Назовем его весом строки (весом соответствующего строке признака).

(2) Подсчитываем количество единиц в строках матрицы и среди строк, содержащих минимальное их количество, находим строку с наименьшим порядковым номером. Этот номер будет первым членом первого отстраиваемого ряда. Весом члена ряда будет вес соответствующей строки, для подсчета веса ряда складываем веса его членов.

Таким образом, первым членом ряда будет признак, который находится в отношении «выше» с минимальным количеством других признаков.

(3) Находим строку с наименьшим порядковым номером среди всех строк, удовлетворяющих требованию: элемент 1 на пересечении со столбцом, соответствующим последнему члену отстраиваемого ряда, и 0 или 1 на пересечении со столбцами, соответствующими всем остальным членам отстраиваемого ряда.

Это означает, что мы выбираем первый по порядку признак, расположенный выше последнего члена отстраиваемого ряда, и либо выше любого другого члена ряда, либо не имеющий с ним стратиграфических отношений.

Если такая строка в матрице имеется, то её номером по-полняется отстраиваемый ряд, на величину ее веса увеличивается вес отстраиваемого ряда и выполняется процедура (4). В противном случае переходим к процедуре (6).

(4) Просматривая строки матрицы, начиная со строки, имеющей номер на единицу больше последнего члена отстраиваемого ряда, находим строку с наименьшим порядковым номером среди строк, удовлетворяющих требованию: элемент 2 на пересечении со столбцом, соответствующим последнему члену отстраиваемого ряда, элемент 1 на пересечении со столбцом, соответствующим предпоследнему члену ряда, и элементы 0 или 1 на пересечении со столбцами, соответствующими остальным членам ряда. Если такая строка в матрице имеется, то выполняется процедура (5). В противном случае — процедура (3).

Процедура (4) нужна потому, что мы брали первый по порядку признак, а ниже него в матрице остаются (если они есть) признаки, расположенные выше последнего признака ряда, но ниже того признака, которым мы по процедуре (3) хотим этот ряд пополнить. Если вставить между этими признаками третий нельзя, то снова выполняется процедура (3).

(5) Последний член отстраиваемого ряда заменяется номером строки матрицы, определенным в процедуре (4). Соответственно меняется вес ряда. Далее выполняется процедура (4).

С помощью процедур (4) и (5) вставляем между двумя последними членами ряда другие признаки до тех пор, пока это возможно.

(6) *Анализ построенного ряда.* Когда ряд больше нельзя удлинить, анализируем его вес. За первый эталон принимаем первый построенный ряд. Все ряды сравниваем с ним. Если вес построенного ряда больше веса эталона, то принимаем этот ряд за новый эталон. Если построенный ряд «легче», сохраняем старый эталон. В любом случае пытаемся строить ряды, используя часть предыдущего, для чего выполняется процедура (7).

(7) Просматривая матрицу со строки, порядковый номер которой на единицу больше последнего члена последнего отстроенного ряда, находим строку с наименьшим порядковым номером среди всех строк, удовлетворяющих требованию: элементы 0 или 3 на пересечении со столбцом, соответствующим последнему оставленному члену последнего отстроенного ряда, элемент 1 на пересечении со столбцом, соответствующим предпоследнему члену этого ряда, элементы 0 или 1 на пересечении со столбцами, соответствующими остальным членам этого ряда.

Таким образом, в процедуре (7) мы проверяем, нельзя ли, отбросив последний член отстроенного ряда, удлинить и «утяжелить» его: построить новый ряд, используя часть предыдущего. Если такая строка имеется, то построение нового ряда начинается (8). В противном случае переходим к процедуре (9).

(8) Последний оставленный член последнего отстроенного ряда заменяется номером строки матрицы, определенным при выполнении процедуры (7). Соответственно меняется вес ряда. Далее выполняется процедура (3).

(9) Из последнего построенного ряда исключается последний из оставшихся в нем членов. Соответственно меняется вес. Если нельзя построить новый ряд, используя самую большую часть предыдущего (отбросив только последний его член), то мы еще и еще уменьшаем эту часть.

Анализируем количество членов, оставшихся в последнем отстроенном ряду. Если остался один член, то это означает, что нельзя построить новый ряд, используя часть предыдущего, и мы переходим к процедуре (10), пытаемся строить новый ряд с другим первым членом. В противном случае переходим к процедуре (7).

При построении ряда с использованием части предыдущего мы отбрасываем последние члены отстроенного ряда. Можно строить новые ряды, отбрасывая первые члены этого ряда, затем — процедура (3) и т. д. Но учесть обе эти возможности мы не стремимся (дублируется большое количество рядов) и потому произвольно укорачиваем ряд сверху.

(10) Путем последовательного просмотра строк матрицы, начиная со строки, имеющей номер на единицу больше первого члена последнего построенного ряда, находится строка с наименьшим номером среди строк, содержащих минимальное количество единиц. Если такой строки в матрице нет, то это означает окончание решения задачи. Последний эталон, согласно принятому критерию, будет геохронологической шкалой. В противном случае этот номер будет первым членом нового отстраиваемого ряда, дальнейшее построение которого начинается с процедуры (3) (Гончарова и др., 1977).

Инвариантность относительно исходной нумерации признаков обеспечивается процедурами (4) и (5): они корректируют построение ряда по процедуре (3), в которой выбор следующего члена ряда зависит от исходной нумерации признаков. Во всех остальных процедурах изменение исходной нумерации признаков может повлиять только на порядок, последовательность перебора, но не на его полноту.

В следующих модификациях алгоритма учитывался тот факт, что один и тот же вес могут иметь несколько стратифицирующих последовательностей (рядов померов строк матрицы отношений). Тогда они равноправны по весовому критерию, но меж-

ду порядками, которые определяет каждая из них, возможны противоречия. Возникает проблема выбора, проблема геохронологической шкалы.

3.3. В какой-то степени удовлетворяют требованию дальности корреляции и детальности расчленения и другие числовые критерии. Например, частота встречаемости признака: если признак встречен в  $K$  разрезах из всех имеющихся, то его частота равна  $K$ . Наилучшей стратифицирующей последовательностью является имеющая наибольшую сумму частот (суммируются частоты входящих в последовательность признаков) (Салин, 1983). Мною также были предложены различные критерии, среди них обобщенный вес и сумма рангов признака по всем описанным разрезам. Обобщенный вес признака учитывает в комплексе его весовую и частотную характеристики: если признак  $A$  находится с признаком  $B$  в отношении стратифицируемости (выше или ниже), в  $K_1$  разрезах встречены как признак  $A$ , так и признак  $B$ ; признаки  $A$  и  $C$  стратифицирующие и в  $K_2$  разрезах встречены как признак  $A$ , так и признак  $C$  ...; признак  $A$  и  $E$  стратифицирующие и в  $K_m$  разрезах встречены как  $A$ , так и  $E$ , то обобщенный вес признака  $A$  равен произведению чисел  $K_1 \times K_2 \times \dots \times K_m$ . Ранг признака — количество слоев в данном разрезе от нижней до верхней границы признака. Если в каком-то из разрезов признак отсутствует, его ранг в этом разрезе принимается равным общему количеству слоев разреза. Геологический смысл характеристики очевиден: отождествляем как одновозрастные — содержащие признак  $A$  геохронологической шкалы — все слои, заключенные между нижней и верхней границами этого признака, отделяя их от выше- и нижележащих. Чем больше слоев между границами, тем менее детально расчленение разреза: если признак фиксирован в разрезе снизу доверху, он не позволяет расчленить этот разрез. Точно так же нельзя по признаку  $A$  расчленить разрез, где  $A$  нет. Поэтому отсутствие признака  $A$  в разрезе тождественно его распространению снизу доверху (в вышеизложенном смысле). Для каждого признака подсчитываем сумму рангов по всем разрезам. Лучшей стратифицирующей последовательностью признаков является та, у которой сумма рангов меньше. Можно предложить и другие числовые критерии, имеющие содержательный смысл (Салин, 1983). Кроме проблемы выбора наилучшей стратифицирующей последовательности это ставит нас перед выбором наилучшего критерия ее качества.

Напрашивается вывод о неудачности такой постановки задачи построения наилучшей стратифицирующей последовательности.

3.4. Может быть, отдельные признаки, образующие наилучшую стратифицирующую последовательность, обладают отличительными чертами? Может быть, следует строить не из всех признаков все возможные стратифицирующие последователь-

ности и выбирать из них наилучшую, а отобрать лучшие признаки и строить из них?

Вполне естественно при машинной обработке считать за один все признаки, имеющие одинаковое распространение: они встречены в одних и тех же разрезах, их вертикальные диапазоны совпадают. Такое отождествление уменьшает исходный массив данных, количество переборов одинаковых рядов.

Наиболее привлекательными являются признаки, имеющие малый вертикальный диапазон и большое географическое пространство. Например, встреченные в единственном слое в каждом разрезе множества D. Конечно, не все такие признаки являются стратифицирующими между собой. Например, в одном разрезе А выше В, а в другом В выше А. Могут существовать и циклы: в одном разрезе А выше В, в другом разрезе В выше С, а А нет вовсе, в третьем — С выше А и нет В. Если в первом разрезе признак С не встречен, то налицо цикл.

Не попробовать ли наоборот: отсеять признаки, которые наверняка не войдут в наилучшую стратифицирующую последовательность, чтобы остались только «хорошие» признаки?

Действительно, кроме одинаково распространенных, есть признаки, которые встречены в одних и тех же разрезах, и вертикальные их диапазоны либо совпадают, либо диапазон одного уже диапазона другого. В этом случае можно отсеять признаки с более широким вертикальным диапазоном. На качестве наилучшей стратифицирующей последовательности это не скажется. Можно отсеять все признаки, встреченные в единственном разрезе. Это может сказаться только на детальности расчленения того разреза, где встречен такой признак. Для определения отношений одновременности, для корреляции разрезов эти признаки бесполезны.

Всю отбраковку «плохих» признаков можно производить автоматически, просматривая строки матрицы отношений. Например, из признаков, имеющих в матрице отношений одинаковые строки, можно оставить один: на построении наилучшей стратифицирующей последовательности это не скажется.

Во всех работающих сейчас алгоритмах построения стратифицирующих последовательностей производится такая отбраковка признаков, а также и другие, более специальные, отбраковки.

Отбраковка сокращает затраты машинного времени и памяти, но не снимает проблем выбора. И хотя продвижение в этом направлении еще возможно, возникает желание иначе повернуть задачу, изменить ее постановку.

3.5. Сравнивая задаваемые различными стратифицирующими последовательностями порядки, легко заметить, что некоторые из них задают один и тот же порядок, и, следовательно, их можно объединить в одну стратифицирующую последовательность, объявив эквивалентными соответствующие признаки. Та-

кую эквивалентность (стратиграфические диапазоны) ввел для использования при решении задачи корреляции возможно большего количества признаков Ю. С. Салин (1974).

Однако объединить в одну все стратифицирующие последовательности не удастся, а выбор из двух противоречащих друг другу порядков (стратифицирующих последовательностей) остается выбором.

Таким образом, произнесено «роковое» слово «в одну». Одна стратифицирующая последовательность — и проблема выбора снята! «Сошлемся на известное наблюдение, которое знают инженеры и физики и которое состоит в том, что каждая задача, в основе которой лежит явление действительности, если эту задачу *правильно поставить* (выделено мной.— *Е. Г.*), имеет только одно разумное решение» (Брейман, 1968. С. 169).

## ГЛАВА 4.

### НЕПЕРЕБОРНЫЕ АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ НАИЛУЧШЕЙ СТРАТИФИЦИРУЮЩЕЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ. ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ШКАЛА

*Понять — значит построить модель.  
Кельвин*

4.1. Алгоритм «Лестница». Попробуем исходить из того, что геохронологическая шкала — наилучшая стратифицирующая последовательность — единственна, какими бы способами ее ни строили.

Для оценки качества отдельных признаков применимы все упоминавшиеся в предыдущей главе числовые критерии: вес признака (чем больше вес, тем лучше признак), частота встречаемости (чем больше, тем лучше), обобщенный вес (чем больше, тем лучше), сумма рангов по всем разрезам (чем меньше, тем лучше). Условным началом шкалы  $A_1^0$  выберем любой из признаков, имеющих единичный ранг во всех разрезах, где они встречены, и наибольшую среди таких признаков частоту. Все остальные признаки расположим в ряд в порядке убывания их качества (числовой критерий любой). Если у нескольких признаков качество одно и то же, то первым среди них будет имеющий большую частоту и далее в порядке ее убывания.

Просматривая признаки этого ряда начиная с первого, находим признак  $A$ , являющийся стратифицирующим относительно  $A_1^0$ . Он будет членом строящейся стратифицирующей последовательности: первым, если  $A$  ниже  $A_1^0$ , и вторым, если наоборот. Имеет два члена:  $A_1^0, A_2^0$ .

Для каждого  $k$ -го признака ряда выясняем его стратиграфические отношения с уже отобранными признаками. Если  $A_k$  выше или не имеет стратиграфических отношений с предыдущими  $A_1^0, A_2^0, \dots, A_{m-1}^0$  ее членами, ниже  $A_{m+1}^0$  и ниже или не имеет стратиграфических отношений с остальными признаками  $A_{m+2}^0, \dots, A_n^0$ , то он займет место между  $A_{m+2}^0$  и  $A_{m+1}^0$ .

Соответственно изменится нумерация признаков  $A_n^0$ . Если  $A_k$  выше самого верхнего из признаков  $A_n^0$  и выше или не имеет стратиграфических отношений с остальными, то  $A_k = A_{m+1}^0$ . Если  $A_k$  ниже самого нижнего признака  $A_1^0$  и ниже или не имеет стратиграфических отношений с остальными, то он будет первым, а номера прежде отобранных признаков увеличатся на единицу (признаки шкалы нумеруем от нижних к верхним).

После перебора всех признаков построится одна стратифицирующая последовательность.

4.2. Но для того, чтобы считать ее по определению геологической шкалой, необходимо доказать, что она-то и есть наилучшая. Примеры же показывают, что эта стратифицирующая последовательность не всегда совпадает с наилучшей, в смысле имеющей лучшую качественную оценку по сумме своих признаков (числовой критерий любой). Кроме того, построенные с использованием различных числовых критериев «наилучшие» стратифицирующие последовательности, вообще говоря, различны.

Несовпадения результатов применения переборного и вышеизложенного алгоритмов можно ликвидировать, меняя местами в исходном ряду (расположении в порядке убывания качества) некоторые признаки. Какие именно — зависит от их стратиграфических отношений, а не от числовых критериев. Такие перестановки — шаг назад, к перебору стратифицирующих последовательностей.

Напрашивается вывод: качество отдельных признаков определяется числовыми критериями очень приблизительно. Качество стратифицирующих последовательностей — тоже. Нельзя ли иначе поставить задачу?

4.3. *Метод расслоения.* Предлагаемый подход изучения слоистой толщи основан на представлении о том, что, подобно тому как толща состоит из непересекающихся налегающих друг на друга слоев, определяющее ее множество признаков может быть разбито на подмножества непересекающихся как в теоретико-множественном смысле, так и стратиграфически, т. е. эти подмножества можно перенумеровать так, что признаки первого из них не выше (ниже или не имеют стратиграфических отношений) признаков следующих подмножеств, признаки каждого подмножества не выше признаков всех следующих подмножеств и не ниже (выше или не имеют стратиграфических отношений) признаков всех предыдущих подмножеств. Именно эти признаки отражают структуру слоистой толщи. Все другие признаки, попавшие в описания, должны быть признаны избыточными, случайными, «шумом».

Такой подход вполне согласуется с обычным отношением стратиграфа к конкретным описаниям разрезов: действительно, задают структуру, порядок слоистой толщи не все признаки

из описаний, а лишь немногие из них, называемые руководящими.

Всю информацию о стратиграфических отношениях между признаками представим в виде квадратной матрицы отношений.

Для изучения структуры множества  $R$  руководящих признаков предположим сначала, что «шума» нет, нет неруководящих признаков. Разобьем множество  $R$  на подмножества (уровни) следующим образом. В первый уровень выделим все признаки, в столбцах которых в матрице отношений нет двоек. Это означает, что ни в одном из описанных разрезов нет никаких признаков, которые были бы ниже выделяемых в первый уровень. Вычеркнем признаки первого уровня из матрицы отношений.

Среди оставшихся признаков выделим во второй уровень те признаки, в столбцах которых нет двоек, и т. д.

Из построения уровней следует, что в теоретико-множественном смысле они не пересекаются. Из предположения об отсутствии «шума» следует, что уровни не пересекаются и стратиграфически. Назовем эту процедуру и ее результат расчленением множества признаков на уровни.

Ту же процедуру можно проделать, отбирая в уровни признаки, строки которых не содержат двоек, т. е. те, выше которых нет других признаков. В связи с этим будем говорить о расчленениях снизу и сверху.

4.4. Признаки, попавшие в один уровень, складываем следующим образом: суммой двух признаков  $A$  и  $B$  будет признак  $A+B$ , имеющий распространение в тех слоях разрезов, где встречены  $A$  или  $B$  или как  $A$ , так и  $B$ . Например,  $A$  — признак, представленный строкой  $(8,8)(5,7)(1,1)(3,8)$ , а  $B$  — строкой  $(0,0)(4,8)(0,0)(2,2)$ . Признак  $A+B$  будет представлен строкой  $(8,8)(4,8)(1,1)(2,8)$ .

Суммой всех признаков уровня будет признак, имеющий распространение в тех слоях, где встречен хотя бы один из признаков этого уровня. Суммируя признаки каждого из уровней, мы получим стратифицирующую последовательность сумм признаков (или признаков и сумм признаков). Действительно, из построений уровней следует, что сумма признаков каждого уровня выше непосредственно предыдущего и не имеет иных стратиграфических отношений с остальными предыдущими, т. е. последовательность сумм признаков уровней является по определению стратифицирующей последовательностью.

Стратифицирующая последовательность сумм признаков является расширением понятия стратифицирующей последовательности признаков. Кроме того, сложение признаков в ней имеет определенный геологический смысл: порядковый номер суммы определяет место слоя, содержащего хотя бы один признак суммы, в возрастной последовательности, а слагаемые признаки определяют выполняющие этот слой фации.

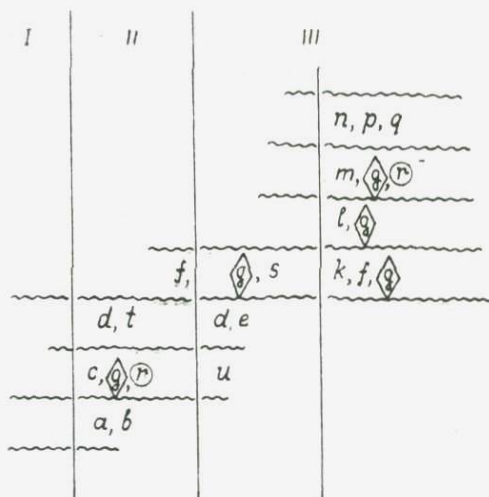


эта матрица путем перенумерации исходного множества признаков может быть приведена к полуупорядоченной.

Достаточность этого условия очевидна: если матрица отношений может быть полуупорядочена, то исходное множество признаков расслаивается. К необходимости вернемся позже.

Ясно, что матрица (1) есть частный случай полуупорядоченной матрицы, когда вдоль главной диагонали определенным образом группируются все стратиграфически пересекающиеся признаки. Расслоение по полуупорядоченной матрице дает стратифицирующую последовательность только в этом случае. При любом другом виде полуупорядоченной матрицы отношений уровни расслоения, хотя бы два из них (два признака из разных уровней), стратиграфически пересекаются.

4.6. На любом реальном материале руководящие признаки, имеющиеся в описаниях, тесно связаны стратиграфическими отношениями с неруководящими признаками. Вносить в уровни «шум», к примеру, будут признаки, распространенные только в видимой кровле или подошве (если видимая кровля или видимая подошва разновозрастны в разных разрезах). Иллюстрируем это модельным примером «ступеньки».



Полуупорядоченная матрица отношений исходного множества признаков {a, b, c, q, d, t, u, e, f, s, k, l, m, n, p} имеет вид

3	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	2	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	3	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	3	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2	2	2	2	2	2	2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2	2	2	2	2	2	2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Расслоение снизу

1. a, b, k
2. c, u
3. d, t, e
4. f, s
5. l
6. m
7. n, p, q.

Расслоение сверху

- 1(7). t, s, n, p, q
- 2(6). m
- 3(5). l
- 4(4). f, k
- 5(3). d, e
- 6(2). c, u
- 7(1). a, b.

Признак e попадет в первый уровень расслоения снизу и тем самым обеспечит стратиграфическое пересечение первого уровня с третьим. Признак k обеспечит пересечение первого и четвертого уровней. При расслоении сверху пересечение первого (седьмого) уровня с пятым (третьим) обусловлено наличием признака t. Признак s обеспечит стратиграфическое пересечение первого (седьмого) и четвертого уровней.

Для устранения этих нарушений порядка сравним расслоения снизу и сверху: первый уровень снизу — с последним сверху и т. д. Оставим в уровнях общие признаки (теоретико-множественное пересечение уровней), а остальные исключим. Имеем после сравнения

1. a, b
2. c, u
3. d, e
4. f
5. l
6. m
7. n, p, q.

Это стратифицирующая последовательность признаков и сумм признаков: все стратиграфические пересечения исключены.

Такое сравнение расслоений вполне обосновано: мы имеем дело с одной и той же слоистой толщей, порядок напластования в которой не зависит от способа его нахождения. Также легко исключаются при сравнении расслоений снизу и сверху некоторые признаки с широким возрастным диапазоном.

Добавим для примера к 15 признакам «ступенек» один «растянутый» признак g. Матрица отношений незначительно отличается от предыдущей матрицы и может быть полуупорядочена. После сравнения расслоений снизу и сверху g будет исключен. Такое сравнение всегда возможно.

Для проведенного сравнения расслоений сверху и снизу необходимо выполнение следующего условия.

4.7. *Утверждение 3.* Количество уровней в расслоениях снизу и сверху по одной и той же полуупорядоченной матрице отношений одно и то же.

В самом деле, если при расслоении (снизу или сверху) признаки  $A_1, A_2, \dots, A_k$  образовали один уровень, а признаки  $B_1, \dots, B_p$  образовали другой уровень, то, значит, некоторые признаки  $A_i$  и  $B_j$  из этих уровней образуют упорядоченные пары (хотя бы

одну). Отношение же порядка не зависит от направления рас-слоения.

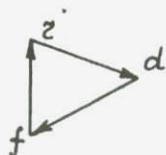
4.8. Гораздо сложнее обстоит дело с удалением из уров-ней расслоения признаков, образующих циклы. Образование цик-лов связано с неполнотой описания разрезов, с нулями в стро-ках пар чисел, которыми мы представляем признаки. Во всяком разрезе, где нет признака А, может найтись пара признаков В и С такая, что признаки А, В, С образуют цикл. Какой из признаков А, В, С «плохой», вывести только из наличия цикла невозможно.

Это интереснейшее явление — образование циклов — может быть связано также и с излишней детальностью описания раз-резов: в ряде случаев резонно образующие цикл признаки объединять в один, суммируя их. Например, в случае, когда каждые два признака цикла встречены в соседних или близких слоях того разреза, в котором встречены как тот, так и дру-гой признак пары, естественно все три признака цикла объеди-нить в один (их сумму) и объединить соответствующие сло-и в соответствующих разрезах в один слой (неделимый интервал разреза). Образование циклов требует специального исследо-вания. Возможно, что именно нули в строках, представляющих признак, мешают построению единственной стратифицирующей последовательности.

В примере «ступеньки» добавим еще один признак г во второй слой первого разреза и в третий слой третьего раз-реза. Признак г имеет возрастной диапазон [2, 6], т. е. признак г выше первого руководящего признака и ниже седьмого. Одна-ко он вносит иной «шум». Действительно, как бы мы ни пере-нумеровывали признаки, матрица отношений не приводится к полуупорядоченной. Дело в том, что признак г образует цикл с признаками d и f: г ниже d, встречены с d лишь в первом разрезе, где нет f; d ниже f и встречен с ним лишь во вто-ром разрезе, где нет г; f ниже г и встречен с г лишь в третьем разрезе, где нет d. Часть матрицы отношений, соответствующая этому циклу, имеет вид

$$\begin{pmatrix} \text{ш} & 2 & 1 \\ 1 & \text{ш} & 2 \\ 2 & 1 & \text{ш} \\ z & d & f \end{pmatrix}$$

Граф отношения «ниже» (или «выше») еще нагляднее иллюстрирует цикл



Очевидно, что в примере «ступеньки» признак  $g$  неруководящий, но, к сожалению, решить это не всегда так просто.

4.9. *Утверждение 4.* Исходное множество признаков расслаивается на уровни тогда и только тогда, когда никакие его элементы не образуют циклов.

Очевидно, что если цикл есть, то, дойдя до первого признака цикла, мы не сможем найти столбец (строку) без двоек — расслоение прекращается.

Покажем, что если циклов нет, то признаки исходного множества можно перенумеровать так, что соответствующая матрица отношений будет полуупорядоченной. Начнем перенумерацию с самых нижних и закончим самыми верхними признаками. Находим в матрице отношений строку — первую из строк с самой левой двойкой. Просматриваем ее, устанавливая новый порядок перечисления признаков.

По столбцу  $k$ , соответствующему самой левой двойке строки  $s$ , находим признаки, ниже которых нет никаких других (все другие выше или нестратифицирующие или не имеют стратиграфических отношений): в столбце  $k$  против них двойки. Признаки, ниже которых нет никаких других, будут первыми в новом порядке перечисления. Соответствующие столбцы и строки сразу же исключим из матрицы отношений.

Переходим к следующей двойке в строке  $s$  и просматриваем соответствующий столбец  $g$ . Если в нем нет двоек, то его признак будет следующим в новом порядке перечисления. Если в столбце  $g$  двойка на месте  $m$ , то по столбцу  $m$  находим признаки, которые ниже  $m$ . Если их нет (т. е. нет двоек в столбце  $m$ ), то признак  $m$  — следующий в новом порядке перечисления.

Перед тем как продолжить перечисление признаков в новом порядке, надо, просматривая соответствующие столбцы, убедиться в отсутствии признаков ниже перечисляемого. Необходимо помнить, по какому столбцу слева идет просмотр, по какой строке в этом столбце произошло обращение к другим столбцам.

Когда кончатся двойки в основной строке просмотра (первой с самой левой двойкой), проверяем, все ли признаки перечислены в новом порядке. Если не все, то находим среди них признак с самой левой двойкой в строке — новой основной строке просмотра и продолжаем перечисление оставшихся признаков. Если все строки, соответствующие еще не перечисленным признакам, не содержат двоек, то причисляем эти признаки к новому порядку произвольно.

Построенная в соответствии с новым перечислением матрица отношений является полуупорядоченной, что следует из способа перечисления: каждый следующий признак не ниже предыдущего. Заодно нами доказана здесь и необходимость условия, сформулированного в утверждении 3. Действительно, если исход-



це к двоек нет. Порядок перечисления: a, b, c, u, e, g, d, t, f, k, l. Признак l указан, потому что больше нет двоек в его столбце. Следующая двойка по строке f в столбце m. В этом столбце двоек нет. Порядок перечисления: a, b, c, u, e, g, d, t, f, k, l, m. То же с признаками n, p, q. Порядок продолжен: a, b, c, u, e, g, d, t, f, k, l, m, n, p, q. Двойки в строке i кончились. Не указан в новом порядке перечисления только признак s. Причисляем его: a, b, c, u, e, g, d, t, f, k, l, m, n, p, q, s.

Заполнив в соответствии с этим перечислением матрицу отношений, убедимся в том, что она полупорядоченная.

4.11. Расслоение исходного множества признаков снизу и сверху и сравнение соответствующих уровней, безусловно, дают единственную стратифицирующую последовательность сумм признаков (уровни расслоения стратиграфически не пересекаются) в следующих случаях: а) когда каждый признак встречен в каждом разрезе; б) когда материал представлен одним разрезом. Второй случай исчерпывает задачу расчленения разреза. Первый следует отнести к тем, которые практически никогда не случаются.

Открываются две возможности продолжения исследования: коррелировать разрезы по два и исследовать зависимость результата от порядка, в котором коррелируются разрезы; исследовать структуру исходного множества признаков с общих позиций. Например, пытаться моделировать его добавлением к стратифицирующей последовательности сумм признаков других признаков для того, чтобы проследить, как этот заданный «шум» влияет на расслоения. Это уже, вообще говоря, трансформация последней постановки задачи, которая может быть сформулирована так: задана слоистая толща — стратифицирующая последовательность сумм признаков; установить, при каких расширениях множества признаков этой последовательности задаваемый ею порядок остается тем же самым: может быть восстановлен однозначно.

Способы отыскания единственного решения — наилучшей стратифицирующей последовательности — не исчерпаны. Постановка исследования (задачи в широком смысле) может быть и иной.

4.12. Задавшись, например, вопросом о том, какой длины могут быть стратифицирующие последовательности, приходим к следующему ограничению: число признаков в любой стратифицирующей последовательности, построенной на фиксированном материале, не превосходит числа  $k = g + 1$ , где  $g$  — ранг матрицы отношения «выше» (или отношения «ниже»).

Матрица отношения «выше» заполнена нулями и единицами. Единица на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца означает, что  $i$ -й признак выше, чем  $j$ -й, нуль — все остальные стратиграфические отношения или их отсутствие. Ранг матрицы — число  $g$  такое, что а) у матрицы имеется минор  $g$ -го порядка,

отличный от нуля; б) всякий минор матрицы порядка  $r+1$  и выше равен нулю. Для понимания всех рассуждений достаточно знать, что минор — часть матрицы из  $N$  ее строк и столбцов, число  $N$  — порядок минора. Величина минора, имеющего вид

$$\begin{vmatrix} a_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & a_{N3} & \dots & a_{NN} \end{vmatrix},$$

равно произведению его диагональных элементов:  $a_{11} \times a_{22} \times \dots \times a_{NN}$ . Следовательно, равенство такого минора нулю означает наличие нуля среди сомножителей  $a_{kk}$ .

Теперь приступим к доказательству сформулированного выше ограничения на длину стратифицирующей последовательности.

Пусть в исходных данных такие признаки и их столько, что все они образуют одну стратифицирующую последовательность  $\{A_k\}$ . Тогда матрица отношения «выше» имеет вид

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Над главной диагональю матрицы только нули, под ней, кроме обозначенных обязательных единиц, элементы 0 или 1.

Совершенно очевидно, что отличный от нуля минор наивысшего порядка получается при вычеркивании первой строки и последнего столбца и, следовательно, ранг матрицы  $A$  на единицу меньше количества признаков в стратифицирующей последовательности  $\{A_k\}$ .

Добавим к признакам последовательности  $\{A_k\}$  признак, стратиграфический диапазон которого, определенный последовательностью  $\{A_k\}$ , равен  $[p, q]$ . Матрица отношения «выше» нового множества признаков будет существенно отличаться от матрицы  $A$  тем, что появятся обязательные нули на пересечении  $p$ -й строки и  $N-1$ -го столбца и на пересечении  $q$ -го столбца и  $N+1$ -й строки.

Ясно, что ненулевой минор наивысшего порядка получается после вычеркивания как первой строки и последнего столбца, так и столбца и строки  $N+1$ -го добавленного признака.

Добавление любого количества признаков, образующих свои стратифицирующие последовательности, ведет только к изменению ранга матрицы отношения «выше». Таким образом, утверждение доказано. Можно переформулировать его: число руководящих признаков (признаков в геохронологической шкале) не превосходит ранга матрицы отношения «выше» (или отношения «ниже») плюс единица.

Подсчет ранга матрицы может представлять определенные трудности. Приемы его вычисления для матрицы произвольного вида можно узнать в любой книге по линейной алгебре или, например, в книге Г. Е. Шилова (1969).

Таким образом, мы не знаем, как искать руководящие признаки, но имеем ограничение на их количество.

4.13. На основании этого ограничения можно, например, организовать такой перебор стратифицирующих последовательностей с выбором наилучшей, при котором строится матрица отношений не всех признаков, а только  $k$  из них. Сначала для  $k$  первых признаков, потом первый из этих  $k$  признаков заменяется другим из остальных  $p - k$  признаков и т. д., всего строится  $S_n^k$  матриц отношений, и каждый раз соответствующие стратифицирующие последовательности сравниваются (используется какой-либо числовой критерий качества). При этом достигается, как минимум, экономия памяти ЭВМ.

Ограничение остается верным и для матрицы отношений признаков, содержащей элементы 0, 1, 2, 3,— меняется только ранг матрицы отношений: по сравнению с рангом матрицы отношения «выше» (или «ниже») он может только увеличиться. Но это не означает увеличения длины стратифицирующих последовательностей, просто ограничение, полученное по матрице отношений, более грубое.

4.14. Введенные посредством дефиниций понятия стратиграфических отношений и стратифицирующей последовательности тотчас же начинают самостоятельную жизнь. Задачей в широком смысле становится наблюдение этой жизни, установление связей между введенными понятиями, их связей с понятиями давно существующими (математическими, например), сами они с необходимостью могут породить новые понятия, которые угадает и проинтерпретирует содержательно их исследователь.

## ГЛАВА 5. СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

*Во все времена на земле существовали практические люди, погруженные в ни к чему не сводимые упрямые факты; и во все времена на земле существовали люди философского темперамента, поглощенные плетением сети общих принципов.*

*А. Уайтхед*

5.1. Построение геохронологической шкалы является важной, но промежуточной задачей. Уже само понятие о наилучшей стратифицирующей последовательности (не имеющее хорошего, в смысле Лебега, определения) содержит ссылку на следующую задачу: дающая наилучшую корреляцию. И это общее расплывчатое пожелание призвано приближать и конкретизировать числовые критерии и сами методы построения стратифицирующих последовательностей.

Стратиграфическая корреляция включает две операции: синхронизацию и идентификацию. И то, и другое необходимо для построения геологической карты. Синхронизация геологических объектов — установление их одновозрастности. На геологической карте будет отражена только конфигурация изохронных границ бесплотных стратиграфических подразделений. Идентификация — установление принадлежности двух сравниваемых областей пространства одному и тому же непрерывному геологическому телу — связанной области пространства, все точки которой обладают признаками одного и того же класса некоторой классификации. При этом границы стратиграфических подразделений играют роль строительных лесов (Салин, 1983а).

Алгоритм синхронизации включает в себя алгоритм построения геохронологической шкалы, алгоритм установления возрастных диапазонов не вошедших в нее признаков, алгоритм возрастной индексации слоев всех коррелируемых разрезов. Идентификация следует за синхронизацией.

5.2. *Установление возрастных диапазонов.* Среди признаков, не вошедших в шкалу, многие могут оказаться полезными для корреляции. Чтобы их использовать, Ю. С. Салин (1974) ввел отношения эквивалентности.

Возрастной диапазон (интервал эквивалентности) признаков, не вошедших в геохронологическую шкалу, устанавливаем следующим образом. Нумеруем признаки шкалы снизу вверх. Если неруководящий признак  $A$  имеет отношения 0 или 1 с  $p-2$  первыми признаками шкалы, отношение 1 — с  $p-1$ -м признаком шкалы, отношения 3 или 0 с  $N$  следующими, отношение 2 — с  $q+1$ -м признаком и 0 или 2 с остальными, то его возрастной диапазон  $[p, q]$ , что означает его эквивалентность  $N$  руководящим признакам: от  $p$ -го до  $q$ -го.

Автоматически такое установление может быть осуществлено с использованием матрицы отношений из  $p$  строк и  $m$  столбцов, где  $p$  — число признаков в описаниях, а  $m$  — число признаков в геохронологической шкале (Гончарова и др., 1977; Салин, 1983а).

5.3. *Возрастная индексация слоев.* Возрастная индексация слоев осуществляется в соответствии с тем, каковы возрастные диапазоны признаков, которые они содержат. Слою присваивается индекс (номер руководящего признака) или несколько индексов (номеров руководящих признаков): теоретико-множественное пересечение возрастных диапазонов содержащихся в данном слое признаков. Например, слой содержит признаки с возрастными диапазонами  $[1,6]$ ,  $[5,8]$ ,  $[3,9]$ ,  $[5,7]$ . Индекс этого слоя  $[5,6]$  — общая часть всех возрастных диапазонов его признаков.

Составление алгоритмов для автоматической обработки послойных описаний разрезов с целью их возрастной индексации не представляет больших трудностей (Гончарова и др., 1977; Салин, 1983а).

5.4. Именно при решении задачи корреляции выясняется, как работают введенные понятия, осуществляется их опосредованная связь с реальными геологическими объектами.

Вопросы существования и единственности решения задачи корреляции затронуты И. Н. Ньюберг и Ю. С. Салиным (1976), однако они остаются неисчерпанными и тесно связанными с проблемой геохронологической шкалы.

К любым новым методам предъявляется требование: в случае задачи с известным решением — на модельном или реальном материале — новый метод должен давать тот же результат, ни в коем случае не противоречить известному бесспорному решению («сходиться с ответом»).

В стратиграфической практике встречаются разрезы, корреляция которых не представляет затруднений: решение очевидно. Именно такой материал необходим для апробации всякого нового метода корреляции, хотя требование совпадения

с известным ответом не является достаточным для того, чтобы удовлетворяющий ему метод был признан дающим беспорядочный результат в случае неочевидного решения.

Пока что для алгоритмических методов стратиграфической корреляции, кому бы они ни принадлежали, справедливы слова А. А. Ляпунова: «обычно трудно показать, что они являются наилучшими. Тем не менее во многих практических случаях они, несомненно, дают высокоэффективное решение». Их «следует считать много более рациональными, чем действия, опирающиеся лишь на совсем шаткие основания интуитивного характера» (1966. С. 45).

В некоторых случаях нетрудно предсказать (смоделировать) ситуацию, в которой тот или иной метод даст худший, по сравнению с другим методом, даст плохой, совсем бессмысленный, с точки зрения геолога, результат (Салин, 1983).

Специального исследования требуют вопросы ограничения применимости того или иного метода стратиграфической корреляции. У авторов методов подобные ограничения, как правило, отсутствуют даже в такой, выражающей эмпирическое правило, форме, как у Т. Б. Хейтса: для скважин, удаленных не более чем на 10 миль друг от друга (Haite, 1963).

5.5. *Район Корфского бурогоугольного месторождения.* Корфское месторождение расположено на северо-востоке Камчатки на западном побережье залива Корфа. Территория, описанная А. И. Челебаевой и Ю. С. Салиным, включает междуречье рек Угольная и Вывенка, руч. Классический, береговой обрыв от устья Японской речки до Корфской косы. Крупный разлом северо-восточного простирания делит район на два блока. В юго-восточном блоке обнажаются преимущественно полого залегающие континентальные угленосные толщи, лишь у мыса Окно небольшой фрагмент разреза представлен обломочными отложениями с остатками морских моллюсков и иглокожих. Северо-западный блок сложен терригенными морскими толщами, моноклинально наклоненными к западу под углами 30—40°. На горе Успенье (СЗ блок) и на мысе Окно (ЮВ блок) отмечены выходы андезитов.

В шести описанных разрезах (рис. 2) отмечено наличие 21 литологического признака: 1 — аргиллит бурый с рассеянным и сгруженным гравийно-галечным материалом; 2 — шаровые мергельные конкреции; 3 — флиш тонкослоистый и среднеслоистый; 4 — подводноползневые дислокации; 5 — флиш грубослоистый; ... ; 20 — окаменелые пни; 21 — туф белый пепловый. Среди найденных фаунистических остатков (определения Ю. С. Салина) учтены 104 признака: 22 — *Yoldia nitida*; 23 — *Yoldia (portlandella)*; 24 — *Yoldia (Cnesterium) kuluntunensis*; ... ; 120 — *Dentalium*; 121 — морские ежи; 122 — морские ежи (много); 123 — *Balanus*; 124 — *Balanus* (много); 125 — офиуры. Кроме того, учтено 153 флористических признака (опре-

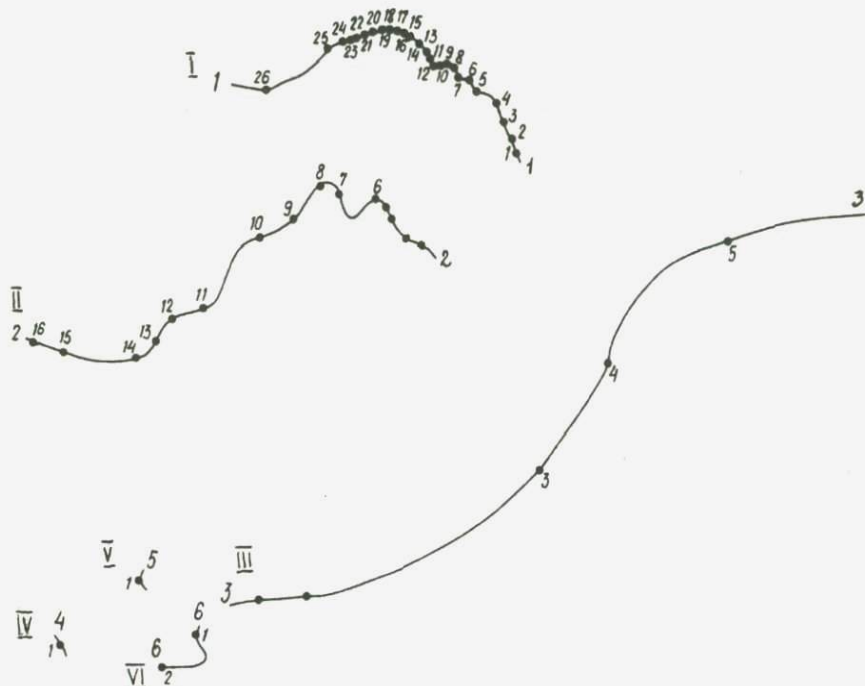


Рис. 2. Схема расположения разрезов Корфского бурогоугольного месторождения

деления А. И. Челебаевой): 126 — *Osmunda doroshiana*; 127 — *Osmunda*; 128 — *Osmundaceae*; 129 — *Ococlea sensibilis* var. *fossilis*; 130 — *Ococlea*; 131 — *Aspidaceae*; ... ; 277 — *Carpolithes* 1; 278 — *Carpolithes* 2.

Описание разреза № 1 по р. Угольная включает 26 слоев (каждый слой — последовательность номеров признаков): 1 (видимая подошва разреза) — 1, 2, 74, 88, 94, 111, 112; 2 — 1, 2, 22, 23, 28, 33, 34, 36, 37, 41, 88, 97, 112, 120; 3 — 1, 2; 4 — 1, 2, 22, 23, 26, 28, 29, 30, 33, 34, 36, 37, 41, 88, 97, 106, 112; ... ; 24 — 6, 7, 8, 9, 41, 53, 54, 111; 25 — 6, 7, 8, 9, 41, 46, 53, 54, 67, 85, 88; 26 — 6, 8, 41, 67, 88, 100.

Описание разреза № 2 по р. Большая Медвежка: 1 — 1; 2 — 1, 2, 34, 36, 37, 41, 112, 120; 3 — 1, 2, 3, 23, 28, 34, 36, 37, 41, 111, 112; ... ; 14 — 1, 6, 10, 26, 27, 28, 31, 32, 33, 35, 36, 46, 59, 60, 70, 76, 77, 78, 79, 81, 85, 86, 88, 90, 94, 100, 109, 111, 114, 115, 123, 124; 15 — 16, 11; 16 — 13.

Разрез № 3 по береговому обрыву от мыса Окно до начала Корфской косы был описан палеоботаниками (А. И. Челебаева и др.) очень детально с выделением десятков прослоев угля, песчаников, аргиллитов, конгломератов и прочих литологических разновидностей угленосной континентальной формации. Од-

нако, так как при любых сопоставлениях ни одна из угленосных толщ или пачек не прослеживалась за пределы разреза, такая детальность описания оказалась избыточной. Потому в описании угленосной части разреза многочисленные мелкие литологические подразделения были объединены в три интервала (третий, четвертый и пятый слои): 1 — 6, 7, 8, 10, 12, 46, 47, 48, 49, 50, 54, 57, 59, 60, 61, 63, 64, 68, 70, 77, 78, 79, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 94, 98, 100, 103, 109, 111, 113, 114, 115, 121, 122; 2—6, 8, 11; 3—6, 7, 8, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 126, 127, 128, 129, 130, ..., 263, 265, 266, 274, 275, 277, 278; 4—6, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 19, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 166, ..., 246, 249, 264, 265, 266; 5 — 6, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 19, 21, 129, 130, 131, 136, ..., 271, 272, 273, 274, 276.

В разрезе № 4 в 0,8 км от устья Японской речки; в этом обнажении не удалось выделить каких-либо слоев, залегающих один на другом: 1 — 6, 8, 9, 10, 47, 50, 76, 77, 78, 79, 82, 83, 85, 86, 88, 90, 94, 98, 100, 109, 111, 113, 114, 115, 121, 122.

В разрезе № 5 у устья р. Мутнушка также не удалось разделить на слои небольшой выход терригенных пород: 1—6, 8, 9, 10, 70, 76, 77, 78, 82, 83, 86, 88, 90, 94, 98, 100, 109, 111.

У мыса Окно — разрез № 6 — фиксировано налегание конгломератовой пачки на андезиты: 1—13; 2—18, 19, 204, 205, 208.

Обработка материала этих шести разрезов без предварительной отбраковки каких-либо признаков по алгоритму «Лестница» с использованием рангового числового критерия дала следующую геохронологическую шкалу:

1. *Dentalium* (2,2) (2,2) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
2. Флиш тонкослоистый и среднеслоистый  
(0,0) (3,3) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
3. Аргиллиты бурые с гравийно-галечным материалом  
(3,3) (4,4) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
4. *Nuculana* (*Borissia*) *alferovi* (4,4) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
5. *Trominina onnaica* (5,5) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
6. *Trominina japonica* (6,6) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
7. *Betula* (7,7) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
8. Подводнооползневые дислокации (9,9) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
9. Крупные *Thyasira* (11,11) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
10. *Liocuma fluctuosa* (14,15) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
11. Неритмичное чередование песчаников, аргиллитов, гравелитов (16,16) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
12. *Cardita kevetschevumensis* (17,17) (8,8) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
13. *Thracia kavranensis* (20,20) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
14. Скопления *Mastra polinyma*  
(21,22) (10,10) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
15. *Nuculana* и *Acila* (*Truncaula*)  
(0,0) (12,12) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
16. *Masoma nasuta* (25,25) (14,14) (1,1) (1,1) (0,0) (0,0)
17. Андезиты (0,0) (16,16) (0,0) (0,0) (0,0) (1,1)

18. *Fagus antipovi* (0,0) (0,0) (3,3) (0,0) (0,0) (2,2)
19. *Salix uglensis* (0,0) (0,0) (4,4) (0,0) (0,0) (0,0)
20. *Salix kenaiana* (0,0) (0,0) (5,5) (0,0) (0,0) (0,0)

После установления возрастных диапазонов и возрастной индексации слоев получается схема корреляции, изображенная на рис. 3. Сравнение этой схемы с ранее существовавшими схемами корреляции и геологическими картами обнаружили полное их согласие и большую детальность алгоритмического результата. Эта детальность порождает наименее устойчивые черты геологического строения района. И поскольку в стратиграфической практике считается преждевременным выделение подразделений, которые не прошли проверку на прослеживаемость, то вполне обоснована предварительная — до алгоритмической обработки материалов — отбраковка признаков, встреченных в единственном разрезе.

Обработка того же материала с предварительной отбраковкой признаков, встреченных в единственном разрезе, и признаков с одинаковым распространением приводит к схемам менее детальным, но более устойчивым. Все — переборные и непереборные — алгоритмы дают одну и ту же схему корреляции (рис. 3) — при использовании различных критериев оценки геологические шкалы различаются, быть может, только эквивалентными признаками (при решении задачи переборными алгоритмами). Например, шкала

1. (2,2) (2,2) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
  2. (8,14) (3,9) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
  3. (21,22) (10,10) (0,0) (0,0) (0,0) (0,0)
  4. (0,0) (14,14) (1,1) (0,0) (0,0) (0,0)
  5. (0,0) (16,16) (0,0) (0,0) (0,0) (1,1)
  6. (0,0) (0,0) (3,3) (0,0) (0,0) (2,2)
- и другая, у которой четвертый признак (25,25) (14,14) (1,1) (1,1) (0,0) (0,0).

Корреляция этих шести разрезов Корфского бурогольного месторождения может считаться задачей с известным ответом: разногласий у стратиграфов, работающих традиционными, опирающимися на профессиональные навыки и интуицию, методами, она не вызывала.

5.6. *Неогеновые отложения Усть-Камчатского района.* Усть-Камчатская серия выходит на поверхность непосредственно южнее приустьевой части р. Камчатка, в 20—30 км юго-западнее Усть-Камчатска. Здесь находится крупная антиклинальная складка, восточное крыло которой скрыто под рыхлыми отложениями прибрежной морской равнины. В ядре антиклинали в нескольких небольших обнажениях вскрыты подстилающие усть-камчатскую серию песчаники, аргиллиты и зеленые полосчатые кремни березовоярской серии (видимая мощность 80 м). Западное крыло представляет собой пологую моноклираль с углами падения 5—30°.

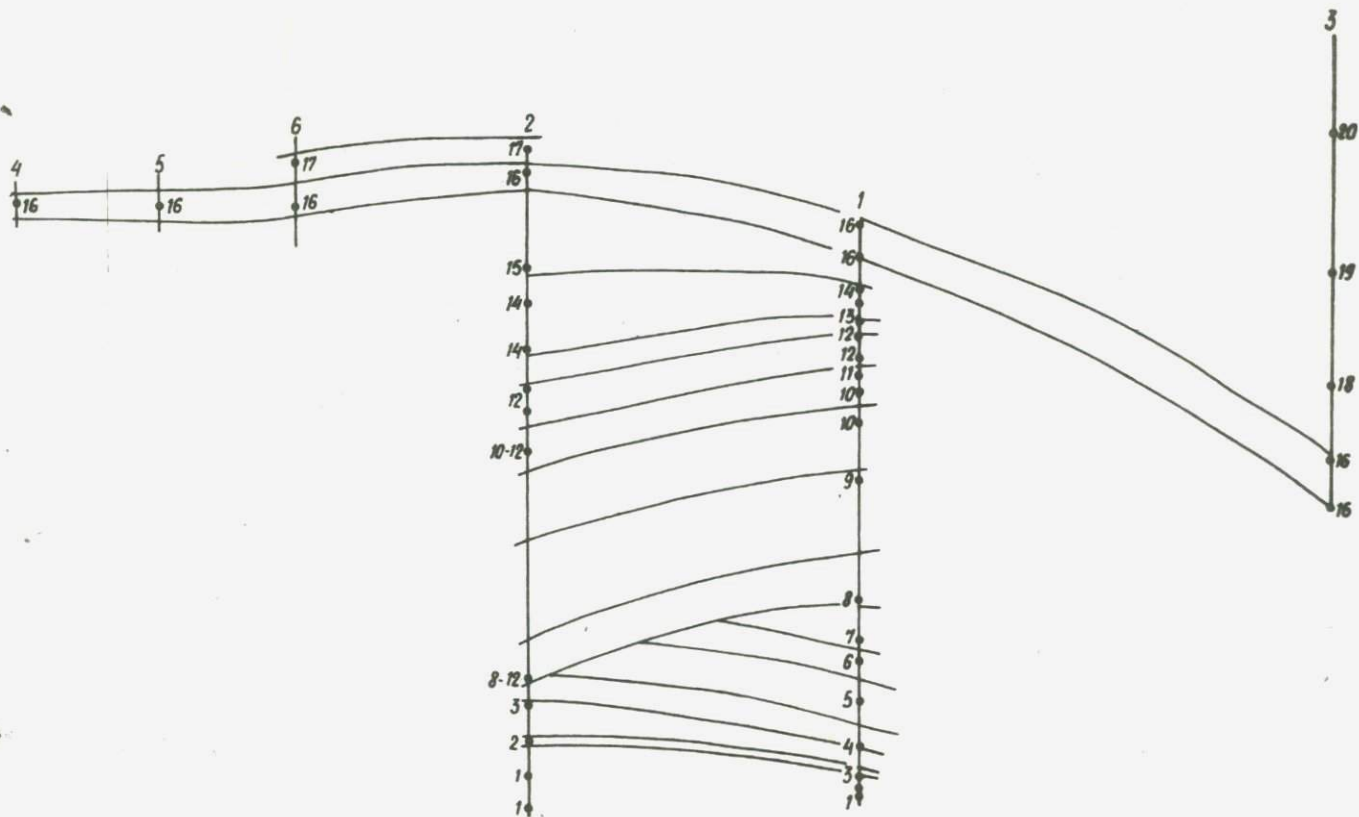


Рис. 3. Корреляция разрезов Корфского бурогоугольного месторождения

В 15 описанных разрезах (рис. 4) установлено распространение 25 литологических и 124 палеонтологических (флора — листовые отпечатки наземных растений; микрофлора, микрофауна — диатомеи и спикулы губок; фауна — моллюски, брахиоподы, усоногие, иглокожие) признаков. В качестве примера

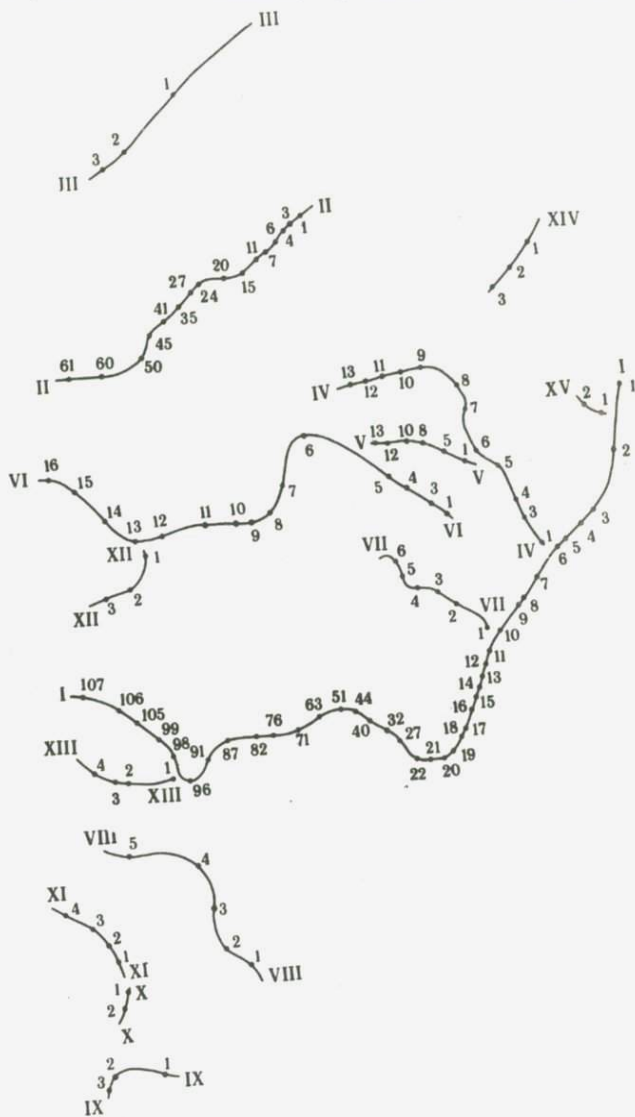


Рис. 4. Схема расположения разрезов неогеновых отложений Усть-Камчатского района

литологические признаки: 1 — кремень зеленый полосчатый; 2 — конгломерат глыбовый; 3 — конгломерат зеленый косослоистый; 4 — конгломерат; 5 — песчаник бурый рыхлый; 6 — песчаник бурый рыхлый (прослой более 0,5 м); 7 — песчаник черный тонкополосчатый; 8 — аргиллит белесый микрополосчатый; ... ; 20 — олистолиты; 21 — подводнооползневые дислокации; 22 — внутриформационные несогласия; 23 — гравелит или крупнозернистый песчаник черный рыхлый; 24 — известняк-ракушняк; 25 — уголь. Флора (определения Л. Ю. Буданцева): 26 — минерализованные хвоинки (*Tsuga?*); 27 — *Alnus*; 28 — *Ulmus*; ... ; 39 — отпечатки листьев наземных растений. Микрофлора, микрофауна: 40 — *Arachnoidiscus*; 41 — *Coscinodiscus*; 42 — *Istmia*; 43 — *Thalassiosira*; 44 — *Centrales*; 45 — диатомеи; 46 — спикулы губок. Фауна (определения Ю. С. Салина): 47 — *Yoldia nitida*; 48 — *Yoldia nitida* (много); 49 — *Yoldia chehalisensis*; 50 — *Y. chehalisensis* (много); 51 — *Y. watasei*; 52 — *Y. deformis*; ... ; 60 — *Yoldia*; 61 — *Yoldia* (много); 62 — *Nuculana*; 63 — *N. tumiensis* (много); 64 — *N. crassatelloides*; 65 — *N. roba*; 66 — *N. alferovi*; 67 — *N. alferovi* (много); 68 — преобладание *N. alferovi* в комплексе органических остатков; 69 — *N. tumiensis*; 70 — *Cardita*; ... ; 94 — *Cardita pacifera*; 95 — *Cardita*; 96 — *Cardiidae*; ... ; 135 — *Dentalium*; 136 — моллюски; 137 — офиуры; 138 — морские ежи; 139 — морские ежи (много); 140 — морские звезды; 141 — иглокожие; ... 147 — *Nuculana* (много), *Thyasira* (много); 148 — *Nuculana tumiensis* (много) и *Yaldia chehalisensis* (много); 149 — морские ежи и много *Yoldia nitida*.

В разрезе № 1 по береговому обрыву вдоль дороги Хваленка—Горбуша и далее по каньону р. Горбуша описана последовательность слоев: 1 — 2, 3, 5, 6; 2 — 3, 4, 5; 3 — 2, 3, 4, 5, 6, 7, 27, 30, 39; ... ; 104 — 17, 19, 47, 55, 56, 57, 60, 61, 66, 67, 68, 69, 70, 79, 95, 107, 132, 136, 142, 143, 146; 105 — 17, 19, 21, 22; 106 — 5, 23, 24, 79, 81, 84, 92, 93, 132, 134, 136, 146; 107 — 17.

В разрезе № 2 по руч. Хваленский выделен 61 слой: 1 — 15, 26, 55, 60, 79, 136; 2 — 15, 26, 55, 60, 69, 72, 79, 84, 86, 102, 115, 118, 119, 126, 132, 136; 3 — 15, 26, 55, 56, 60, 61, 69, 72, 79, 84, 86, 96, 102, 108, 109, 124, 125, 132, 136; ... ; 52 — 17, 19, 47, 49, 55, 56, 60, 61, 64, 66, 67, 69, 70, 75, 79, 85, 86, 91, 102, 107, 114, 116, 118, 119, 122, 126, 132, 135, 136, 142, 143, 144, 145; 53 — 17, 18; 54 — 17; 55 — 17; 56 — 17; 57 — 17, 21, 22; 58 — 17; 59 — 17; 60 — 23; 61 — 17.

Другие разрезы описаны менее детально. В Малых Шеках р. Камчатка (разрез № 3) в плохих условиях обнаженности удалось выделить лишь три слоя: 1 — 15, 26, 60, 79, 85, 86, 87, 88, 102, 103, 108, 109, 110, 130, 136; 2 — 16, 17, 18; 3 — 16, 17, 18, 47, 48, 49, 50, 55, 56, 60, 61, 62, 63, 69, 72, 75, 78, 79, 102, 136, 148.

В 12 других разрезах по рекам и ручьям Усть-Камчатского района в междуречье рек Камчатка—Коврижка выделено от 2 до 16 слоев.

Обработка материала по переборному алгоритму с использованием различных числовых критериев оценки качества стратифицирующей последовательности привела к трем, вообще говоря, различным «наилучшим» стратифицирующим последовательностям (см. табл. 1—3).

Лучшую синхронизацию (Салин, 1983а) дает стратифицирующая последовательность с наибольшей суммой частот (частотный числовой критерий). Схема корреляции по этой шкале приведена на рис. 5. И в этом случае «ответ сходится», хотя для получения решения пришлось привлечь внешний критерий оценки: оценивать не стратифицирующие последовательности, а схемы синхронизации, которые на основании каждой из них можно построить. «Геохронологическая шкала — стратифицирующая последовательность, обеспечивающая синхронизацию с наибольшей суммой частот *стратиграфических подразделений*» (выделено мной.— Е. Г.) (Там же. С. 77). Такое определение больше соответствует назначенным целям — наиболее дальняя и детальная корреляция, но «на практике все равно неизбежен возврат к посылке: наилучшая последовательность обеспечивает наилучшую синхронизацию. По-видимому, она будет выполняться в большинстве реальных ситуаций» (Там же. С. 77—78).

5.7. *Хатырская нефтегазоносная впадина.* Хатырская впадина, в которой первые промышленные притоки нефти были получены в 1981 г., расположена на беринговоморском побережье в нижнем течении р. Хатырка. К настоящему времени здесь пробурено 28 скважин глубиной до 3 300 м. Практически во всех проведен каротаж в наборе стандартных методов геофизического исследования скважин, по керну изучены литология, минералогический состав тяжелой фракции (иногда и легкой), химический состав пород (силикатные анализы); выделенные из керна моллюски определялись В. И. Волобуевой и И. Г. Прониной, фораминиферы — В. Т. Крымсаловой и Л. И. Митрофановой, диатомы, силикофлагелляты, эбрииды и перидины — Т. Л. Невретдиновой. На западном участке разбуренной территории описано несколько разрезов по обнажениям, где кроме литологии изучены моллюски и фораминиферы.

Материалы по Хатырскому бассейну переданы в лабораторию слоистых структур Института тектоники и геофизики ДВО АН СССР главным геологом Чукотской нефте-газоразведочной экспедиции ПГО «Сахалингеология» Д. И. Агапитовым. Нами проводились многочисленные корреляции разрезов — переборными и непереборными алгоритмами — как в пределах всего бассейна, так и в пределах отдельных участков и разведочных площадей, а также детальное сопоставление близко-расположенных скважин. В отличие от двух предыдущих при-



№	Признак	Разрез														
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
2	38. Thuja	10	0	0	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		10	0	0	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	3. Конгломерат зеленый косослонистый	6	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	
		1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1

Таблица 2

Геохронологическая шкала — последовательность, наилучшая по весовому критерию (466)

№	Признак	Разрез														
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
12	101. <i>Mascoma astori</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0
11	146. Кораллы	106	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0
		106	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0
10	145. <i>Serpulidae</i>	99	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		98	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20. Олистолиды	84	48	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		63	24	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	148. Много <i>Nuculana tumiensis</i> и много <i>Yoldia chehalisensis</i>	45	23	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		42	23	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	149. Морские ежи и много <i>Yoldia nitida</i>	29	8	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
		29	8	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	52. <i>Yoldia deformis</i>	24	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		24	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15. Аргиллит серый крепкий с конкрециями	23	4	1	11	11	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
		19	1	1	11	9	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	13. Песчаник крупнозернистый глауконитовый	18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
		18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	11. Кремь черный стекловатый	17	0	0	10	8	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
		16	0	0	10	8	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2	38. Thuja	10	0	0	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		10	0	0	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	4. Мощные пачки конгломерата	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1

Таблица 3

Геохронологическая шкала — последовательность, наилучшая по обобщенному весу (978)

№	Признак	Разрез														
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
12	54. <i>Yoldia</i> sp. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2	0	0	0	0
11	146. Кораллы	106	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0
		106	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0

№	Признак	Разрез														
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
10	68. Преобладание <i>Nuculana alferovi</i> в комплексе	104	51	0	0	0	13	0	3	0	0	0	0	0	0	0
		99	50	0	0	0	13	0	2	0	0	0	0	0	0	0
9	20. Олистолиды	84	48	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		63	24	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	148. Много <i>Nuculana tumiensis</i> и много <i>Yoldia chehalisensis</i>	45	23	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		42	23	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	149. Морские ежи и много <i>Yoldia nitida</i>	29	8	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
		29	8	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	52. <i>Yoldia deformis</i>	24	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		24	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15. Аргиллит серый крепкий с конкрециями	23	4	1	11	11	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
		19	1	1	11	9	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	13. Песчаник крупнозернистый глауконитовый	18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
		18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	11. Кремень черный стекловатый	17	0	0	10	8	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
		16	0	0	10	8	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2	38. <i>Thuja</i>	10	0	0	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		10	0	0	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	3. Конгломерат зеленый косослонистый	6	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
		1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1

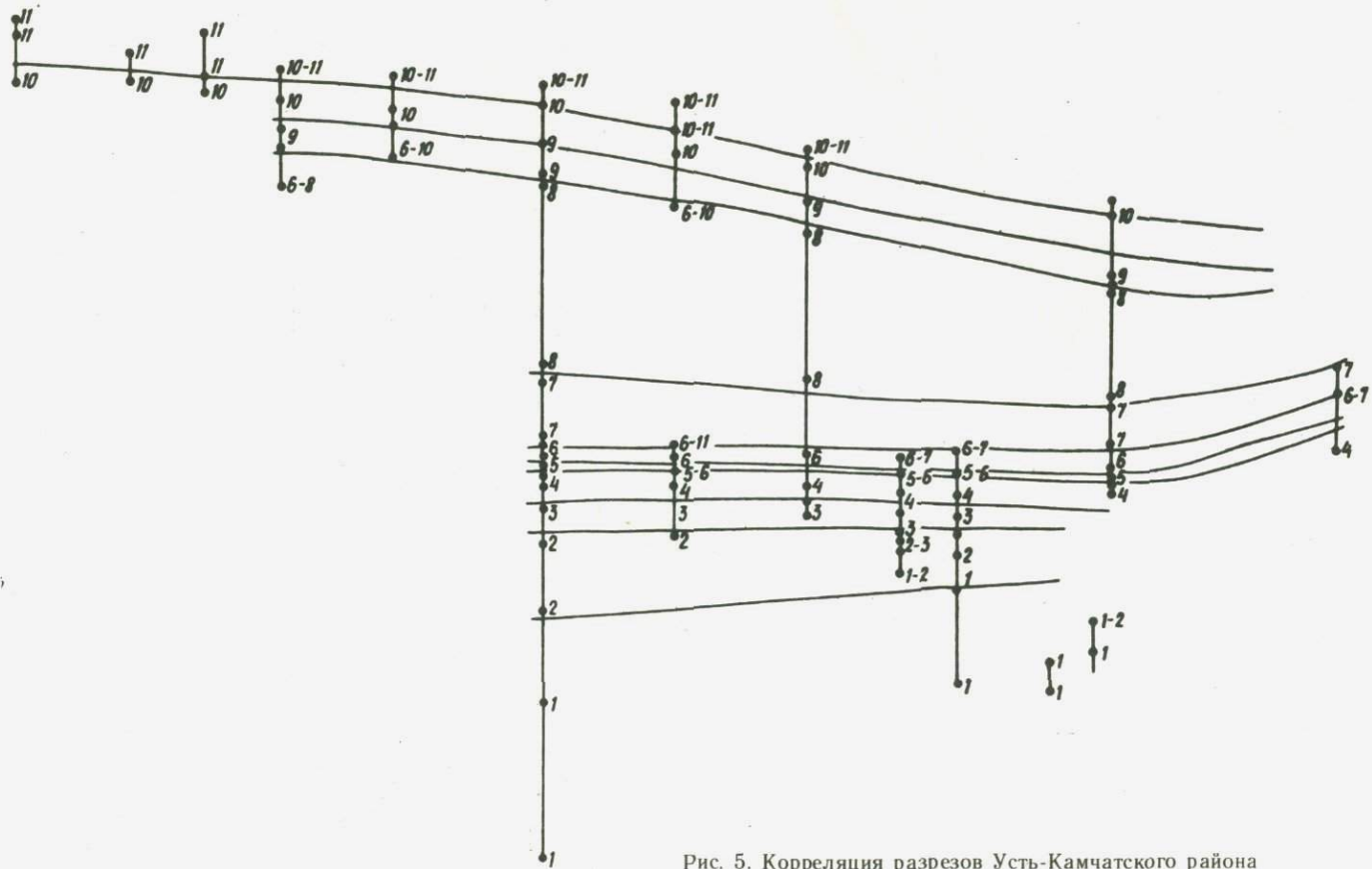


Рис. 5. Корреляция разрезов Усть-Камчатского района

меров, в этом случае задача корреляции не имеет заранее известного ответа — наши алгоритмические методы выступают в новом качестве. В данной работе приводится корреляция двух участков Хатырского бассейна: скважин восточного участка и скважин МП-4, МП-5, МП-7 и П-36 Майнопыльгинского свода.

Восточный участок (восточная часть разбуренной территории) представляет собой плоскую прибрежную тундру с абсолютными отметками не более 10 м (рис. 6), обнажений здесь нет

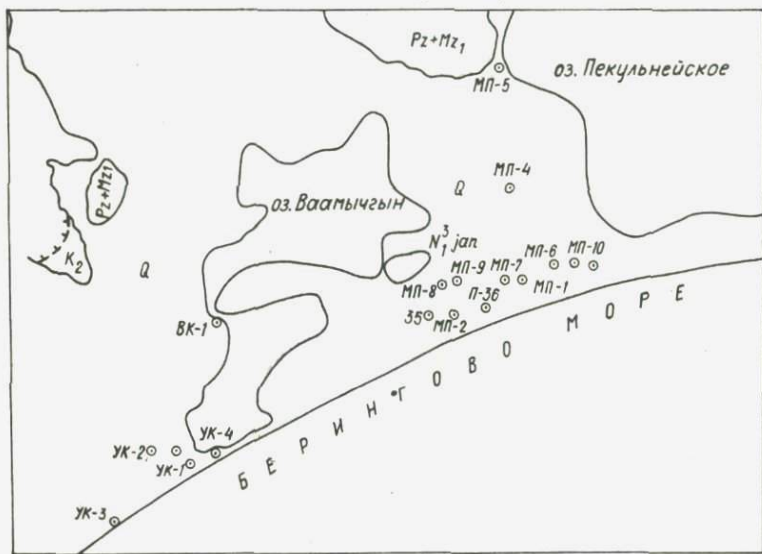


Рис. 6. Схема расположения скважин восточного участка Хатырской нефтегазоносной впадины

Требуется скоррелировать 14 скважин глубиной от 300 м (ВК-1) до 3312 м (скв. 35). В этих скважинах изучено распределение 509 признаков — литология и плотность, фауна, моллюски, фораминиферы, минералогия, каротаж (классификация признаков произведена В. И. Гилевым), морские и пресноводные диатомовые, силикофлагелляты, эбрииды, перидинеи: 1 — аргиллит; 2 — алевролит; 3 — песчаник; ... ; 14 — плотность < 1,8; 15 — плотность < 2; 16 — плотность 2—2,2; 17 — плотность 2,2—2,4; 18 — плотность > 2,4; 19 — аргиллиты и алевролиты легкие < 1,8; 20 — аргиллиты и алевролиты легкие < 2; ... ; 25 — мощные пачки аргиллитов и алевролитов 2,2—2,4; 27 — мощные пачки аргиллитов и алевролитов > 2,4; 27 — *Mennegetonia miltidentata*; 28 — (*Y.*) *candidata*; 29 — (*Y.*) *vengehana*; 30 — *Yoldia*; ... ; 61 — *Turritella*; 62 — *Dentalium*; 63 — *Elphidium*; 64 — *Elphidiella*; 65 — *Subcarinata Volosh*; 66 — *Iojmaense Acano et Mur*; 67 — *Saitoi (Ac. et Mur)*; 68 — *Pseudoelphidiella*; ... ; 204 — *Martinotietta*; 205 — *Plectofrondicularia*; ... ; 212 — преобладание известковых в комплексе (не ме-

нее трех видов); 213 — 100% известковых (не менее трех видов); 214 — большое количество эвригамных форм (более пяти видов); 216 — касситерит (наличие); ... ; 233 — хромнепинелиды (наличие); 234 — хромнепинелиды до 10; 235 — хромнепинелиды 10—20; 236 — хромнепинелиды >20; 237 — хромнепинелиды >30; ... ; 353 — обломки пород ≤90; 354 — обломки пород ≤80; 355 — обломки пород ≤70; 356 — обломки пород ≤60; 357 — обломки пород ≤50; 358 — обломки пород ≤40; 359 — кривые КС и ПС не дифференцированы, диаметр скважины по каверномеру отличается от номинального не более чем на +10%, —5%; 360 — кривые КС и ПС резко дифференцированы, диаметр скважины больше номинального более чем на 10%; ... ; 411 — КС резко дифференцирована, ПС не дифференцирована, ГК до 4 мкм/ч; 412 — КС и ПС не дифференцированы, ГК до 4 мкм/ч; 414 — *Melosira Sulcata v. sulcata* в количестве >30 экз. на стандартную пробу; 415 — *M. Sulcata v. sulcata* >100; 416 — *Melosira Sulcata v. sulcata* >500; ... ; 447 — *Denticala lanta* >6; 448 — *Denticala lanta* >30; 449 — *Denticala lanta* >100; 450 — *Melosira praeliflandica*; 451 — *M. praegr anulata*; 452 — *M. praegr anulata f. curvata*; 453 — *M. joiseanna*; 454 — *M. praedistans*; 455 — *Tetracyclus lacutris*; 456 — *T. ellipticus*; 457 — *Diploneis ovalis*; 458 — *Dictiocha fibula*; 459 — *Distephanus speculum*; 460 — *D. speculum v. speculum*; 461 — *D. japonicus*; 462 — *Ebriopsis antiqua*; 463 — *Pseudommo clorium aff. robustum*; 464 — *Actiniscus aff. sirius*; 465 — кривая КС сглажена (колебание <1,5 Ом·м, нижнее значение не более 5 Ом·м), ПС сглажена (деформация кривой <5 мкВ); 466 — КС сглажена (колебание <1,5 Ом·м, нижнее значение не более 50 Ом·м), ПС в пределах 5—10 мкВ или >10 мкВ, но не меньше 4 пиков на 40 см (условно слабо дифференцирована); ... ; 504 — диаметр скважины отличается от нормы в пределах +10%; 505 — диаметр скважины отличается от нормы в пределах +10%, —5%; 506 — диаметр скважины меньше нормы более чем на 5%; 507 — ГК <4 мкм; 508 — ГК 4—7 мк; 509 — ГК >7 мкм. Слоями в разрезе (скважине) считались интервалы бурения. Наименьшее количество слоев (7) установлено в скв. МП-10, а наибольшее (115) — в скв. 35. Количество фиксированных в слое признаков меняется от одного (в слоях, где нет анализов по керну) до 100—120 признаков (в слоях, где проводился полный стандартный комплекс геофизических исследований, выделены диатомеи, сделаны минералогические анализы). Для иллюстрации приводится лишь два фрагмента разреза (скв. П-36): 1 — 2, 17, 23, 25, 68, 70, 78, 90, 94, 97, 99, 116, 126, 129, 135, 137, 138, 144, 145, 190, 211Д, 212, 220, 238, 248, 250, 251, 252, 256, 258, 262, 264, 265, 269, 276, 277, 278, 290, 293, 298, 306, 308, 309, 310, 311, 313, 314, 329, 334, 335, 336, 337, 348, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 389, 495, 504, 509; 2 — 2, 17, 23, 25, 70, 77, 78, 87, 98, 101, 102, 116, 119, 126, 129, 135, 137, 138,

144, 145, 220, 226, 231, 233, 234, 238, 242, 248, 250, 254, 256, 258, 264, 265, 267, 276, 277, 278, 279, 282, 285, 290, 293, 294, 298, 306, 308, 310, 314, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 343, 348, 349, 350, 351, 352, 353; ... ; 15 — 1, 3, 16, 37, 38, 39, 47, 48, 126, 200, 221, 222, 269, 270, 271, 272, 276, 278, 279, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 294, 298, 306, 308, 309, 310, 311, 324, 325, 329, 330, 331, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 343, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 385; 16 — 3, 16, 48, 65, 68, 126, 216, 220, 221, 223, 226, 227, 233, 234, 238, 242, 243, 246, 247, 254, 256, 259, 260, 262, 264, 265, 266, 267, 269, 270, 271, 272, 276, 278, 279, 285, 286, 288, 290, 291, 292, 294, 298, 303, 306, 308, 309, 310, 311, 324, 329, 330, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 343, 344, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358.

Обработка материала по переборному алгоритму с использованием частного числового критерия дала геохронологическую шкалу

- 1) признак 370 — КС и ПС резко дифференцированы, диаметр скважины близок к номинальному;
  - 2) признак 373 — КС резко дифференцирована с максимальным значением до 25 Ом·м и размахом кривой 10—25 Ом·м;
  - 3) признак 119 — *Naiphragmoides spadix* v. Kuzn.;
  - 4) признак 471 — КС сглажена (колебания 20% от нижнего значения), нижнее значение не более 12,5 Ом·м, ПС сглажена (деформация кривой < 5 мкв);
  - 5) признак 65 — *Pseudoelphidiella subcarinata* Volosh;
  - 6) признак 140 — *Cibicides lobatulus* (Walker et Jakob.);
  - 7) признак 9 — аргиллит диатомовый;
  - 8) признак 396 — КС полого дифференцирована, ПС сглажена, диаметр скважины больше номинального более чем на 10%, ГК до 4 мк/ч
- и соответствующую ей схему корреляции (рис. 7).

5.8. *Корреляция разрезов третичных отложений Сахалина и Камчатки.* Существовала и существует до сих пор точка зрения, что межрегиональная корреляция проводится не только по набору признаков, принципиально отличному от используемого при локальной корреляции, но и принципиально иными методами. С целью проверки такой точки зрения нами была проведена межрегиональная корреляция (задача с известным решением).

Для корреляции палеогеновых и неогеновых отложений Сахалина и Камчатки использованы последовательности фаунистических и флористических комплексов по Тигильскому, Паланскому, Пенжинскому районам Камчатки, западному побережью Восточного Сахалина, Александровскому, Энгижальскому, Дагинскому, Охинскому районам, восточному склону Камышового хребта и п-ову Шмидта (Сахалин) (Решения..., 1961).

Схема корреляции получилась очень близкой к двум существующим схемам 1961 и 1974 гг. В отличие от схемы корреляции

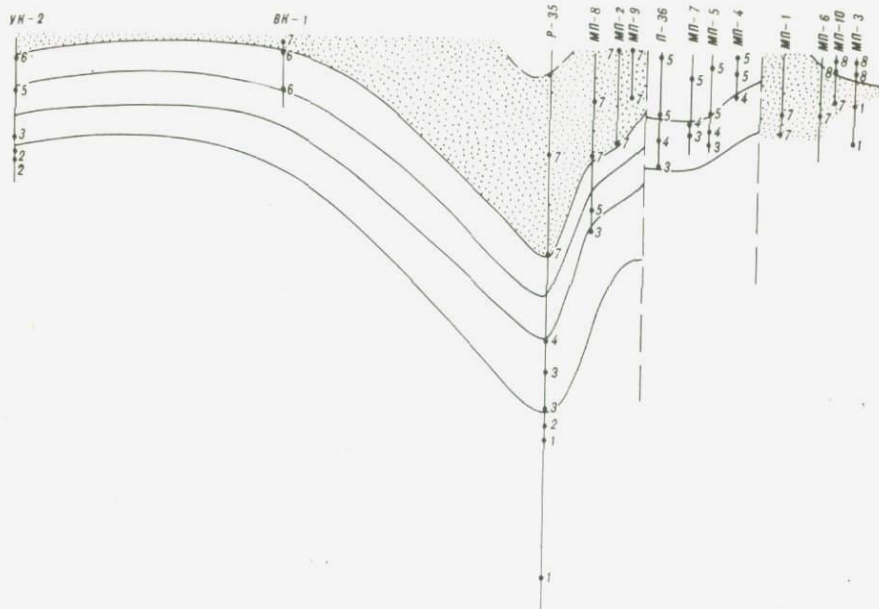


Рис. 7. Корреляция скважин восточного участка и Майнопльгинского свода Хатырской нефтегазоносной впадины

1961 г., ильинская свита ковранской серии Западной Камчатки коррелируется по нашей схеме не с курасийской—окобыкайской свитами, а с чеховской свитой Сахалина. Другими словами, наша схема ближе к схеме, принятой в 1974 г., но построена без привлечения новых описаний разрезов.

5.9. Изложенные выше алгоритмические методы удовлетворяют необходимому условию: дают совпадение в случае задачи с известным решением. В их пользу говорят и другие полученные результаты: в примере межрегиональной корреляции Камчатки с Сахалином на материале 1961 г. нашими методами была получена более совершенная, близкая к полученной традиционными методами на расширенном материале в 1974 г., схема; в случае Хатырского бассейна алгоритмические результаты не только не противоречат, но хорошо согласуются с предварительными наметками, догадками опытных специалистов и с многими, полученными позже — традиционными методами на расширенном материале — результатами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Слоистая толща — объект исследования, который может быть описан различными параметрами (в нашем случае это признаки), которые, в свою очередь, могут быть по-разному включены в систему теоретических понятий. Сама система понятий может быть не единственной, не говоря уже о множестве методов, которые так или иначе на нее опираются. Развиваемая система теоретических понятий представляется нам естественной, основанной на предшествующем опыте (см. гл. 2), практике стратиграфической корреляции. Методы корреляции являются, с одной стороны, методами решения конкретных практических задач, с другой стороны, их качество, количество, взаимосвязи характеризуют систему понятий, являющуюся их основанием. Качество результата решения задачи стратиграфической корреляции также обусловлено качеством системы теоретических понятий. Именно поэтому всестороннему анализу подвергается каждый шаг, каждый поворот в постановке задачи изучения слоистой толщи, каждое достижение на пути к ее решению. Всякая некорректность ведет, по меньшей мере, к трудностям, без которых можно было бы обойтись, если иначе поставить задачу. Как иначе? Как необходимо повернуть, какую новую увидеть грань у объекта, столь давно и столь пристально изучаемого? Что в нем наиболее существенно? Какой способ представления данных откроет новые черты?

Предложенные нами методы и породившая их система теоретических понятий не обязательно являются наилучшими из возможных. Не исключено, что на той же методологической основе будет построена другая система теоретических понятий, базируясь на которой можно будет быстрее и лучше решить задачу стратиграфической корреляции. Но эта возможная и наша системы, безусловно, будут дедуктивно связаны друг с другом. На данном этапе изложенные алгоритмические методы могут применяться для решения практических задач стратиграфической корреляции врозь и в комплексе в зависимости от объема и качества обрабатываемого материала. Метод расслоения позволяет исчерпывающе решить задачу расчленения стратиграфического разреза: дает единственное решение. Процесс решения задачи стратиграфической корреляции пока не должен выходить из-под контроля критической исследовательской мысли. Не все общее выделено в этом процессе из огромного количества частных практических ситуаций. Традиционная стратиграфия с ее

искусством решения практических задач имеет несравненно больше достижений, чем стратиграфия конструктивная, но в последней заложены возможности повторения этих достижений на новом уровне, без противоречий и неоднозначностей, возможности развития традиционной стратиграфии в последовательность усложняющихся теоретических моделей с общей системой понятий и набором алгоритмических средств, возможности быть надежной основой для других отраслей теоретической геологии.

## ЛИТЕРАТУРА

- Александров А. Д.* Диалектика и математика//Сиб. мат. журн. 1970. Т. 11, № 2. С. 243—263.
- Архимед.* Сочинения. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1962. 640 с.
- Бейли Н.* Статистические методы в биологии. М.: ИЛ, 1962. 260 с.
- Беллман Р.* Динамическое программирование. М.: ИЛ, 1960. 400 с.
- Брейман Л.* Задачи о правилах остановки//Прикладная комбинаторная математика. М., 1968. С. 159—202.
- Брюкнер Э.* Земная кора. Общий очерк геологии и морфологии суши//Ганн Ю., Брюкнер Э. Общее землеведение. Спб., 1903. 301 с.
- Вентцель Е. С.* Выступления в дискуссии//Воробьев Н. Н. Развитие науки и теория игр. М., 1972. С. 98—104.
- Венюков М.* Физическая география. Кн. 2. Об устройстве земной коры. Спб., 1865. 112 с.
- Воронин Ю. А., Еганов Э. А.* Методологические вопросы применения математических методов в геологии. Новосибирск: Наука, 1974. 186 с.
- Воронин Ю. А., Еганова И. А., Еганов Э. А.* К проблеме упорядочения объектов в геологии//Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Новосибирск, 1974. С. 119—163.
- Волков А. М.* Решение практических задач геологии на ЭВМ. М.: Недра, 1980. 224 с.
- Геологический словарь (ГС). М.: Недра. 1973.— Т. 1. 485 с.; Т. 2. 456 с. Геология и математика. Новосибирск: Наука, 1967. 253 с.
- Гончарова Е. И., Салин Ю. С., Солдатов О. Б.* Алгоритм построения сводных стратиграфических шкал и корреляция разрезов//Принципы тектонического анализа. Владивосток, 1977. С. 34—41.
- Груза В. В.* Методологические проблемы геологии. Л.: Недра, 1977. 181 с.
- Грюше П. А.* Общая геология для горных специальностей. М.: Углетехиздат, 1948. 303 с.
- Давиташвили Л. Ш.* Геологические исследования В. О. Ковалевского//Ковалевский В. О. Собрание научных трудов. М., 1950. Т. 1. С. 433—453.
- Данбар К., Роджерс Дж.* Основы стратиграфии. М.: ИЛ, 1962. 361 с.
- Динер К.* Основы стратиграфии. М.: Госгоргеолнефтеиздат, 1934. 271 с.
- Дмитриев А. Н.* Вопросы формализованных постановок геологических задач прогнозно-поискового профиля//Логико-математическая обработка геологической информации (теория и математический аппарат). Новосибирск, 1976. С. 5—57.
- Еганов Э. А., Ивановская А. В.* К уточнению понятий о преобразованности горных пород//Вопросы методологии в геологических науках. Киев, 1977. С. 84—93.
- Жищенко Б. П.* Методы стратиграфических исследований нефтегазоносных областей. М.: Недра, 1969. 373 с.
- Земля. Введение в общую геологию. М.: Мир, 1974. 845 с.
- Иностранцев А. А.* Геология. Т. 1. Спб., 1889. 559 с.
- Капица П. Л.* Эксперимент, теория, практика. М.: Наука, 1974. 287 с.
- Клайн М.* Математика. Утрата определенности. М.: Мир, 1984. 445 с.
- Коровин М. К.* Историческая геология. М.: Госгеолиздат, 1941. 487 с.
- Косыгин Ю. А., Салин Ю. С., Соловьев В. А.* Время в геологии//Основные проблемы биостратиграфии и палеогеографии Северо-Востока СССР. Магадан, 1974. С. 44—49.
- Котта Б.* Практическая геогнозия для сельских хозяев, лесничих и техников. Спб., 1862. 439 с.

- Красилов В. А.* Палеоклиматы и корреляции нижнемеловых отложений Дальнего Востока и Арктики // Геология и геофизика. 1971. № 8. С. 11—19.
- Кренделев Ф. П., Кренделев В. Ф.* Эвристические методы в геологии. М.: Наука, 1977. 151 с.
- Круть И. В.* Введение в общую теорию Земли. М.: Мысль, 1978. 367 с.
- Лайель Ч.* Руководство к геологии, или древние изменения Земли и ее обитателей, по свидетельству геологических памятников. Т. 1. Спб., 1866. 495 с.
- Лакатос И.* Доказательства и опровержения. М.: Наука, 1967. 152 с.
- Лахи Ф. Х.* Полевая геология. Т. 1. М.: Мир, 1966. 482 с.
- Лебег А.* Измерение величин. М.: 1960. 204 с.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю.* Введение в геологию. Пг.: Науч. хим. техн. изд-во, 1923. 319 с.
- Лем С.* Сумма технологий. М.: Мир, 1968. 608 с.
- Либрович Л. С.* О палеонтологическом методе в стратиграфии // Палеонтология и стратиграфия. 1948. Сб. 5. С. 10—22. (Материалы ВСЕГЕИ).
- Лоссовский Е. К.* Структура научного знания и перспективы математизации геологии // Геофиз. журн. 1984. Т. 16, № 4. С. 32—44.
- Лоумен С.* Выступление в дискуссии на сессии Американского геологического общества // Осадочные фации в геологической истории. М.: ИЛ, 1953. С. 177—184.
- Ляпунов А. А.* Некоторые особенности строения теоретического знания // Вопр. философии. 1966. № 5. С. 39—50.
- Македонов А. В.* Принципы и методы региональной стратиграфии угольных бассейнов, корреляции разрезов и синонимии угольных пластов // Методы корреляции угленосных толщ и синонимии угольных пластов. Л., 1968. С. 10—50.
- Мейен С. В.* Введение в теорию стратиграфии. М., 1974. 185 с. Деп. в ВИНТИ 25.06.74, № 1748—74.
- Михайловский Г.* Историческая геология. Спб., 1913. 355 с.
- Налимов В. В.* Вероятная модель языка. М.: Наука, 1974. 272 с.
- Неймайр М.* История Земли. Спб.: Просвещение, 1902. 848 с.
- Неймайр М.* Корни животного царства. М., 1919. 298 с.
- Нюберг И. Н., Салин Ю. С.* Основная стратиграфическая модель и вопросы существования и единственности решения задачи корреляции // Методология геологических исследований. Владивосток, 1976. С. 56—62.
- Общая стратиграфия (терминологический справочник). Хабаровск, 1979. 842 с.
- Пабст, Зиперт. Минералогия и геология. Спб., 1906. 108 с.
- Пойа Д.* Как решать задачу. М.: Учпедгиз, 1961. 207 с.
- Пойа Д.* Математика и правдоподобные рассуждения. М.: Наука, 1975. 286 с.
- Пуанкаре А.* Ценность науки. М., 1906. 194 с.
- Рассел Б.* Человеческое познание. М.: ИЛ, 1957. 555 с.
- Рауп Д., Стэнли С.* Основы палеонтологии. М.: Мир, 1974. 390 с.
- Решения межведомственного совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем для Сахалина, Камчатки, Курильских и Командорских островов. Л.: ГТТИ, 1961. 21 с.
- Сабо А.* О превращении математики в дедуктивную науку и начале ее обоснования // Историко-математические исследования. М., 1959. Вып. 12. С. 321—392.
- Садыков А. М.* Идеи рациональной стратиграфии (на примере Центрального Казахстана). Алма-Ата: Наука, 1974. 182 с.
- Салин Ю. С.* Стратиграфическая корреляция на ЭВМ // Вопросы общей и теоретической тектоники. Хабаровск, 1974. С. 139—154.
- Салин Ю. С.* Конструктивная стратиграфия. М.: Наука, 1979. 173 с.
- Салин Ю. С.* Стратиграфическая корреляция. М.: Недра, 1983а. 156 с.
- Салин Ю. С.* Количественная мера различия стратиграфических схем // Тихоокеан. геология. 1983б. № 6. С. 108—110.
- Салин Ю. С., Синюков В. И.* Можно ли построить стратиграфию без историко-генетических посылок // Методология геологических исследований. Киев, 1976. С. 185—197.
- Салин Ю. С., Солдатов О. Б.* Машинные алгоритмы стратиграфической корреляции // Расчленение и корреляция осадочных толщ. М., 1978. С. 163—206.
- Сейсмическая стратиграфия. Т. 1—2. М.: Мир, 1982. 846 с.
- Сергеев О. А.* Метрологические основы теплофизических измерений. М., 1972.

- Соколов Д. И.* Руководство к геологии. Т. 2. Спб., 1842. 344 с.
- Спенсер Г.* Нелогическая геология//Собр. соч. Спб., 1866. Т. 3. С. 277—335.
- Степанов Д. Л.* Методика стратиграфических исследований//Спутник полевого геолога-нефтяника. Л., 1954. Т. 2. С. 3—26.
- Степанов Д. Л.* Принципы и методы стратиграфических исследований. Л.: Гостоптехиздат, 1958. 180 с. (Труды ВНИГРИ; Вып. 113).
- Стратиграфия и математика. Хабаровск, 1974. 203 с.
- Страхов Н. М.* Основы исторической геологии. М.; Л.: Госгеолиздат, 1948. Т. 1—2.
- Траутшольд Г. А.* Основы геологии. М., 1877. 219 с.
- Тугубалин В. Н.* Теория вероятностей. М.: Наука, 1972. 229 с.
- Усманов Ф. А.* Об одном аксиоматическом подходе к экспликации геологических понятий//Вопросы методологии в геологических науках. Киев, 1977а. С. 73—84.
- Усманов Ф. А.* Основы математического анализа геологических структур. Ташкент: Фан, 1977б. 205 с.
- Халфин Л. Л.* Принцип последовательности образования геологических тел (принцип Стенона). Правило последовательности напластования (правило Стенона-Хеттона)//Материалы по региональной геологии Сибири. Новосибирск, 1967. С. 5—29.
- Халфин Л. Л.* О методологических основах стратиграфической классификации//Проблемы стратиграфии. Новосибирск, 1973. С. 3—21.
- Хальд А.* Математическая статистика с техническими приложениями. М.: ИЛ, 1956. 664 с.
- Харари Ф.* Теория графов. М.: Мир, 1973. 300 с.
- Хэллем Э.* Интерпретация фаций и стратиграфическая последовательность. М.: Мир, 1983. 326 с.
- Шилов Г. Е.* Математический анализ. Конечномерные линейные пространства. М.: Наука, 1969. 432 с.
- Шиндевольф О.* Стратиграфия и стратотип. М.: Мир, 1975. 136 с.
- Шрок Р.* Последовательность в свитах слоистых пород. М.: ИЛ, 1950. 564 с.
- Яковлев С. А.* Общая геология. М.; Л.: Госгеолиздат, 1948. 722 с.
- Haites T. B.* Perspective correlation//Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1963. Vol. 47. N 4. P. 553—574.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

От редактора . . . . .	3
Введение . . . . .	4
Глава 1. Роль математики в формировании понятий и теоретических представлений геологии . . . . .	6
Глава 2. Существующие представления о задачах и фундаментальных отношениях в стратиграфии . . . . .	17
Глава 3. Переборные алгоритмы построения наилучшей стратифицирующей последовательности . . . . .	31
Глава 4. Непереборные алгоритмы построения наилучшей стратифицирующей последовательности. Геохронологическая шкала . . . . .	39
Глава 5. Стратиграфическая корреляция. Практические результаты . . . . .	51
Заключение . . . . .	70
Литература . . . . .	72

**Елена Ивановна Гончарова**

**СТРУКТУРА СЛОИСТОЙ ТОЛЩИ  
И АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ КОРРЕЛЯЦИИ**

Утверждено к печати Ученым советом  
Института тектоники и геофизики ДВО АН СССР

Сводный темплан ДВО АН СССР 1987 г.  
(монографии), поз. 9

Редактор *О. Г. Капустина*

Художник *Р. К. Стукалова*

Техн. редактор *О. З. Ефремкина*

Корректоры *Е. С. Хмелева, З. С. Осадчая*

Сдано в набор 21.04.87 г. Подписано к печати 28.12.87 г. ВД 07460.  
Формат 60×90/16. Гарнитура литературная. Печать офсетная.  
Усл. п. л. 4,75. Уч.-изд. л. 4,14. Тираж 600 экз. Заказ 8461. Цена 60 к.

---

Редакционно-издательский отдел Дальневосточного отделения  
Академии наук СССР  
690600, Владивосток, Ленинская, 50

Полиграфический комбинат Управления издательств, полиграфии  
и книжной торговли Приморского крайисполкома  
690600, Владивосток, Океанский проспект, 69.

60 коп

4966